DUKE
UNIVERSITY
LIBRARY

Treasure Room

B398T
v.2 c.1

TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

TOME VI.

TRAITÉ EXPÉRIMENTAL

DE

L'ÉLECTRICITÉ

ET

DU MAGNÉTISME.

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ.

ÉLECTRICITÉ NATURELLE.

PREMIÈRE PARTIE.

LIVRE XV.

DE LA MESURE DES TEMPÉRATURES.

CHAPITRE PREMIER.

PROCÉDÉS THERMO-ÉLECTRIQUES POUR ÉTUDIER LE DÉGAGEMENT DE LA CHALEUR DANS LE FROTTEMENT DES CORPS.

§ Ier. *Exposé des procédés.*

1531. On ignore jusqu'à présent, quand on frotte deux corps l'un contre l'autre, quelle est la portion de chaleur que prend chacun de ces corps dans cette action, en raison de sa nature et de l'état de sa surface. La ques-

tion étant des plus complexes, comme tout le monde sait, on ne peut s'attendre à une solution complète; mais c'est être utile à la science que de faire connaître une méthode d'expérimentation facile, et des résultats généraux qui peuvent éclairer sur les recherches ultérieures, relatives à ce sujet.

Pour déterminer de quelle manière chaque corps intervient, il faudrait pouvoir écarter toutes les causes secondaires qui compliquent les effets que l'on annonce; malheureusement on ne peut y parvenir complétement. En effet, lorsque l'on frotte plus ou moins rapidement deux corps l'un contre l'autre, sans que le contact cesse d'avoir lieu, il y a évidemment transmission de chaleur d'un corps dans l'autre. La quantité qui est transmise dans chacun d'eux dépend de la conductibilité du corps, de sa capacité pour la chaleur et de l'état de sa surface.

D'après cela, la chaleur dégagée dans un corps par le frottement ne saurait être accusée immédiatement, c'est-à-dire, avant sa transmission dans l'autre corps, puisque les indications des thermomètres ordinaires ne sont jamais instantanées. Cependant, il est possible d'opérer dans des circonstances qui permettent d'écarter plusieurs des difficultés que nous venons de signaler. Dans ce cas, on est conduit à une série de faits que nous allons exposer.

L'appareil destiné à observer ces faits se compose d'une pile thermo-électrique en relation avec un excellent multiplicateur. Sa sensibilité est telle qu'une différence d'environ $\frac{1}{100}$ de degré centigrade, entre les températures des deux faces de la pile, fait dévier suffisamment l'aiguille aimantée, pour que l'angle d'écart soit appréciable.

Pour réduire autant que possible la question à sa plus simple expression, on prend deux corps de même nature, mauvais conducteurs de la chaleur, égaux dans toutes leurs dimensions, et ne présentant seulement des différences que dans l'état de leurs surfaces. Ces corps sont fixés convenablement à des tiges en verre, et les surfaces frot-

tées sont mises en contact chacune avec l'une des faces de la pile, comme on le voit dans la figure 1. Quand ces deux surfaces ont la même température, l'aiguille aimantée reste en repos, attendu que les deux courants thermo-électriques étant égaux et dirigés en sens contraire se détruisent; mais quand la température n'est pas la même, l'aiguille aimantée est aussitôt déviée, et l'angle d'écart sert à apprécier la différence de température. Le frottement est produit avec une vitesse et une pression déterminées, afin que son intensité soit toujours connue. Les deux corps sont séparés rapidement l'un de l'autre, et mis immédiatement en expérience.

1532. Outre ce procédé, j'en ai imaginé un autre, dont je n'ai pas encore fait usage, et qui promet des résultats plus précis que celui dont il est question. On prend deux aiguilles, composées chacune de deux autres, l'une de fer et l'autre de cuivre, soudées par un de leurs bouts; puis on place chacune d'elles dans l'intérieur du corps qui subit l'effet du frottement, le plus près possible de la surface, et la soudure au milieu de cette même surface (fig. 2). Si le corps est métallique, on soude les points de jonction de la double aiguille à sa surface inférieure. Chaque corps est soudé avec du mastic à une tige de verre, munie d'un écran pour éviter les effets du rayonnement de la chaleur de la main. Les deux aiguilles sont mises en communication, d'une part par le bout cuivre avec un multiplicateur, de l'autre, par le bout fer, avec un fil de fer. Au moyen de cette disposition, pour peu que l'une des deux surfaces s'échauffe plus que l'autre, la soudure qui est contiguë s'échauffe aussi davantage que l'autre, et le multiplicateur indique alors la différence de température.

Ce procédé, convenablement employé, est le plus exact dont on puisse, je crois, se servir, attendu que la différence des effets de chaleur produite sur chacune des surfaces, par l'action du frottement, est accusée immédiatement. Je me propose de l'employer dans de nouvelles recherches que je vais entreprendre sur la chaleur

dégagée dans les actions mécaniques. Ces recherches ont un tel intérêt pour établir les rapports qui existent entre les effets calorifiques et électriques de frottement, qu'on ne saurait s'y livrer avec trop de suite.

§ II. *Expériences préliminaires.*

1533. Voyons d'abord quel est le mode d'action des appareils que je viens de décrire, et nous passerons ensuite aux résultats : on commence par chercher l'effet produit sur l'aiguille aimantée par le contact d'une des surfaces frottées, possédant une température supérieure à celle de l'air ambiant, avec l'une des faces de la pile; effet dû à l'échauffement de cette face.

L'expérience prouve que, quelle que soit la nature du disque frotté, que ce disque soit conducteur ou non de la chaleur, le temps que met l'aiguille pour atteindre son maximum d'écartement, pourvu que cet écartement ne dépasse pas 60°, est toujours de 10″ dans l'appareil dont j'ai fait usage; pour des écartements de 60 à 75° il est de 9″ $\frac{1}{2}$, et de 9″ pour des déviations de 75 à 90.

Les corps que j'ai soumis à l'expérience étaient des disques de verre, de liége, d'argent, etc.

L'aiguille aimantée se comporte donc, ici, comme un pendule qui oscille sous l'action de la pesanteur, entre de petites amplitudes, puisque les oscillations sont isochrones, mais avec cette différence néanmoins que dans le pendule, lorsque l'amplitude de l'oscillation augmente au delà d'une certaine limite, le temps de l'oscillation augmente également, tandis que le contraire a lieu dans les expériences que nous décrivons, c'est-à-dire, que le temps diminue à mesure que l'amplitude augmente au delà de 60° jusqu'à 90°. Les faits suivants montrent l'isochronisme des déviations par première impulsion, en mettant en contact diverses substances pendant une seconde, avec une source de chaleur possédant une température constante, et les présentant ensuite à l'une des faces de la pile.

SUBSTANCES SOUMISES A L'EXPÉRIENCE.		DÉVIATION lors de la première IMPULSION.	TEMPS.	MOYENNE.
Verre poli....	1re expérience	.... 39	.... 10	..... 10,43.
	2e	.... 37	.... 10	
	3e	.... 39	.... 11	
	4e	.... 38	.... 11	
	5e	.... 41	.... 11	
	6e	.... 36	.... 10	
	7e	.... 38	.... 10	
Verre dépoli..	1re expérience	.... 48	.... 10	..... 10.
	2e	.... 49	.... 10 ...	
	3e	.... 51	.... 10	
	4e	.... 55	.... 10	
	5e	.... 50	.... 10	
	6e	.... 52	.... 10	
Liége.....	1re expérience	.... 10	.... 10	..... 9,8.
	2e	.... 12	.... 10	
	3e	.... 11	.... 9	
	4e	.... 12	.... 9	
	5e	.... 11	.... 11	
Argent.....	1re expérience	.... 56	.... 10	..... 10.
	2e	.... 55	.... 10	
	3e	.... 57	.... 10	
	4e	.... 55	.... 10	
	5e	.... 57	.... 10	

Ces résultats montrent bien l'isochronisme des déviations. S'il y a de légères différences, il faut les attribuer à des erreurs d'observations, car il est très-facile de se tromper d'une demi-seconde quand on évalue le temps de la durée d'une oscillation entière, attendu que l'on ne peut jamais saisir très-exactement l'instant précis où l'aiguille entre en mouvement et l'instant où elle s'arrête, surtout quand l'intensité du courant est faible, comme avec le liége. Nous avons fait un si grand nombre d'expériences pour constater l'exactitude de cette loi jusqu'à 60°, qu'il ne nous reste aucun doute à cet égard.

Pour savoir si cette loi avait encore lieu pour des déviations plus considérables, j'ai pris un disque d'argent dont j'ai élevé successivement la température, afin d'avoir des déviations par première impulsion, depuis 1° jusqu'à 90. Voici les résultats obtenus en évaluant le temps en demi-secondes :

DÉVIATIONS.	TEMPS ÉVALUÉ en DEMI-SECONDES.	DÉVIATIONS.	TEMPS ÉVALUÉ en DEMI-SECONDES.
1°	20	59°	20
2	20	60	19
4	20	63	19
6	20	65	19
10	20	67	19
12	20	70	19
23	20	75	18
40	20	82	18
43	20	83	18
54	20	88	18
56	20	89	18

Nous voyons, comme je l'ai avancé, que de 1° à 60° environ, la durée de chaque déviation est de 10′, de 60° à 70° elle est de 9″ $\frac{1}{2}$, de 70° à 90 de 9″. Je ferai remarquer que les déviations de l'aiguille jusqu'à 20° seulement, répondent à des intensités égales du courant, et qu'il n'en est plus de même au delà.

1534. Après avoir constaté les rapports qui existent entre les déviations de l'aiguille aimantée par première impulsion, et le temps employé pour les produire, quand une des faces de la pile est échauffée par le contact du disque, nous allons chercher ce qui se passe quand cette même face est échauffée par le rayonnement direct de la flamme d'une lampe ordinaire, placée à une distance plus ou moins grande, à la distance d'un mètre, par exemple, de la pile. On a trouvé des effets absolument semblables aux précédents, comme l'indiquent les résultats suivants :

DÉVIATIONS.	TEMPS en DEMI-SECONDES.	DÉVIATIONS.	TEMPS en DEMI-SECONDES.
6°	20	61°	20
8	20	69	19
25	20	71	19
60	20	75	19

Ces résultats nous montrent, comme du reste je l'ai prouvé plus haut, que l'effet est indépendant du plus ou moins de conductibilité des disques employés. Pour voir jusqu'à quel point les faits précédents dépendaient de l'action exercée par le magnétisme terrestre sur l'aiguille, j'ai recueilli quelques observations sur le temps d'une oscillation de l'aiguille du multiplicateur quand on lui imprime une impulsion avec un aimant.

J'ai approché, à diverses distances, de l'aiguille un barreau légèrement aimanté, de manière à la faire dévier d'un certain nombre de degrés, puis, ayant retiré rapidement le barreau, j'ai compté le temps d'une oscillation. Voici les résultats obtenus pour diverses amplitudes :

DÉVIATIONS.	TEMPS d'une oscillation en DEMI-SECONDES.	DÉVIATIONS.	TEMPS d'une oscillation. en DEMI-SECONDES.
4°	18	42	19
5	18	46	19
8	18	53	20
10	18	63	20
12	18	65	20
15	18	70	20
20	18	80	20

On voit qu'ici, comme dans le pendule, le temps des oscillations augmente à mesure que la déviation devient plus grande, tandis que lorsque l'aiguille aimantée est déviée par l'action d'un courant thermo-électrique, les effets sont inverses, que l'échauffement soit produit par rayonnement ou par contact. Pour savoir d'où pouvait dépendre cette déviation, j'ai porté le disque d'argent échauffé sur l'une des faces de la pile, au point de produire une déviation de 80° ; puis, après un contact de quelques secondes, lorsque l'aiguille, par exemple, n'était encore qu'à 30°, j'ai interrompu le circuit : l'aiguille a continué à cheminer, en vertu de la vitesse acquise, jusqu'à 50° seulement; elle s'est alors

arrêtée et est retournée à zéro après quelques oscillations. Cette expérience répétée plusieurs fois a donné constamment le même résultat. On doit donc en conclure que le disque ne se met pas immédiatement en équilibre de température avec la face de la pile, qu'il soit excellent ou mauvais conducteur, peu importe; de sorte que l'isochronisme observé dépend de la propagation de la chaleur dans la surface échauffée de la pile. Ce mode d'expérimentation peut servir encore à apprécier le refroidissement des corps solides, comme le montrent les expériences suivantes :

INDICATION DES DISQUES.	IMPULSION PRIMITIVE.	DÉVIATION DÉFINITIVE.	INTENSITÉ DU COURANT.
PREMIÈRE EXPÉRIENCE.			
Disque d'argent échauffé par frottement et présenté à l'une des faces de la pile.	.... 40°....	.... 36	.... 52°
Le disque présenté cinq minutes après..	.... 6	.... 6	 6
Le disque présenté de nouveau cinq minutes après.....	.... 9	.... 9	 9
DEUXIÈME EXPÉRIENCE.			
Disque échauffé par frottement.....	.... 19	.... 18	 18
Retiré et présenté une minute après....	.... 8	.... 8	 8
Retiré et présenté une minute après.....	.... 4	.... 4	 4

Dans la première expérience, la perte est de 9,2 par minute, et dans la deuxième elle est de 10 pendant la première minute.

INDICATION DES DISQUES.	IMPULSION PRIMITIVE.	DÉVIATION DÉFINITIVE.	INTENSITÉ DU COURANT.
TROISIÈME EXPÉRIENCE.			
Disque frotté.....	.... 11°....	.... 10°,8..	.... 10°,8
Retiré et présenté une minute après....	.... 4	.... 4	 4
Retiré et présenté une minute après.....	.... 2,50...	.... 2,50..	 2,50

Dans cette expérience, la perte de l'intensité du courant, et par suite celle de la chaleur par le refroidissement, est sensiblement proportionnelle au temps.

INDICATION DES EXPÉRIENCES.	INTENSITÉ DU COURANT.	INTENSITÉ CALCULÉE.
1°	10,8	10
2°	4	5,4
3°	2,5	2,5

1535. Le même mode d'expérimentation peut servir encore à déterminer le rapport entre les quantités de chaleur prises par des disques de diverses substances, ayant même diamètre et même épaisseur, quand on les met en contact avec un corps dont la température est constante. La peau du bras dont la température change peu, quand il reste toujours couvert, excepté pendant l'expérience, est la source de chaleur dont j'ai fait usage.

On trouvera dans le tableau suivant les résultats obtenus en soumettant à l'expérience le verre poli, le verre dépoli, l'argent et le liége :

SUBSTANCES.	IMPULSION PRIMITIVE.	DÉVIATION DÉFINITIVE.	INTENSITÉ DU COURANT.	MOYENNES.
Verre poli	15 14 18 15 18	14 13,4 17 14 17	14 13,4 17,1 14 17,1	15,1
Verre dépoli	29 27 30	26,9 25,2 27,8	31,5 28,6 31,1	30,40
Argent	56 55 57 55 57	46,9 46,3 47,5 46,3 47,5	114 108,4 118 108 118	113,3
Liége	10 12 11 12 11 10	9,9 11,7 10,8 11,7 10,8 9,9	9,9 11,7 10,8 11,7 10,8 9,9	10,8

Ces résultats nous montrent que le rapport de transmission au contact du verre poli et du verre dépoli avec l'une des faces de la pile est :: 15, 1 : 30, 40; dans une autre expérience il était :: 47, 1 : 81, 1, c'est-à-dire :: 15, 1 : 26. Il existe entre ces deux rapports une différence assez sensible; mais, quand on réfléchit à la difficulté des expériences, on n'est nullement étonné de cette différence, qui néanmoins n'est pas tellement grande, qu'elle ne permette de tirer la conséquence suivante des faits observés : si l'on prend la moyenne entre ces deux rapports, on a le rapport 31, 1 : 55, 75, ou 1 : 1, 775, qui approche de 1 : 2. En comparant ensemble les pouvoirs de transmission du verre poli, du verre dépoli, du liége et de l'argent, on a les rapports 1, 51 : 3, 01 : 1, 08 : 11, 33. Ces nombres expriment approximativement les quantités de chaleur que prennent les quatre disques susmentionnés, quand on les met en contact, pendant une seconde, avec une source de chaleur dont la température est d'environ 37°. Voici encore des résultats obtenus avec d'autres disques :

Disque de liége mis en contact pendant une seconde avec une plaque de métal ayant une température de 38°.

INDICATION DES EXPÉRIENCES.	INTENSITÉ DU COURANT.	
1re expérience.....	..... 6,5	..... $\frac{48,5}{7} = 7$
2e	..... 6,5	
3e	..... 7	
4e	..... 7	
5e	..... 7	
6e	..... 7	
7e	..... 7,5	

Disque d'argent en contact pendant une seconde avec la peau du bras.

INDICATION des EXPÉRIENCES.	DÉVIATION par IMPULSION.	DÉVIATION DÉFINITIVE.	INTENSITÉ DU COURANT.	
1re expér.	.... 41	.... 36,7	.... 54,4	... $\frac{388,4}{8} = 48,5$
2e	.... 36	.... 32,6	.... 42,3	
3e	.... 41	.... 36,7	.... 54,4	
4e	.... 37	.... 33,5	.... 44,3	
5e	.... 37	.... 33,5	.... 44,3	
6e	.... 40	.... 36	.... 52	
7e	.... 36	.... 32,6	.... 42,3	
8e	.... 41	.... 36,7	.... 54,4	

Disque de plomb soumis au même mode d'expérimentation.

1re	.... 24	.... 22,6	.... 24,3 ...	... $\frac{124,5}{6} = 20,7$
2e	.... 19	.... 18	.... 18,2 ...	
3e	.... 19	.... 18	.... 18,2 ...	
4e	.... 20	.... 19,3	.... 19,8 ...	
5e	.... 23	.... 21,8	.... 23,30 ...	
6e	.... 21	.... 20	.... 20,7 ...	

Disque de verre soumis au même mode d'expérimentation.

1re	.... 15	.... 14	.... 14	... $\frac{74,9}{6} = 12,5$
2e	.... 14	.... 13,4	.... 13,4	
3e	.... 11	.... 10,8	.... 10,8	
4e	.... 13	.... 12,5	.... 12,5	
5e	.... 13	.... 12,5	.... 12,5	
6e	.... 12	.... 11,7	.... 11,7	

Rapports des intensités de chaleur acquises par le liége, l'argent, le plomb et le verre : : 1 : 7 : 3 : 1,8.

On avait eu précédemment pour le liége, l'argent et le verre les rapports 1,08 : 11,33 : 1,53. Ces nom-

bres présentent des différences avec les résultats consignés dans le dernier tableau, surtout pour celui qui est relatif à l'argent, différences que l'on doit attribuer soit à l'état des surfaces, soit au refroidissement qu'éprouvent les disques quand on les transporte de la source de la chaleur à l'appareil. On diminue ces différences en opérant avec le plus de promptitude possible.

On doit remarquer que les nombres 1 : 7 : 3 : 1,8 expriment par approximation les rapports composés des quantités de chaleur que prennent les disques à la source, et de celles qu'ils cèdent à la face de la pile.

§ III. *Chaleur dégagée dans le frottement de différents corps l'un contre l'autre.*

1536. Passons à la chaleur dégagée dans le frottement. Les moyens dont on peut disposer pour observer la chaleur dégagée dans le frottement de deux corps l'un contre l'autre, présentent tous des inconvénients, attendu qu'ils ne permettent pas de faire les observations avec une très-grande exactitude ; néanmoins ils suffisent pour donner des rapports, dont on peut tirer parti pour étudier la marche des phénomènes.

Lorsqu'on frotte deux corps l'un contre l'autre, même deux corps mauvais conducteurs, le contact ayant toujours lieu pendant la durée de l'action, la chaleur dégagée se répartit dans chacun d'eux, en raison de sa conductibilité, de sa capacité pour la chaleur et de l'état de sa surface ; dès lors le phénomène est très-complexe.

Je prendrai d'abord le cas le plus simple, celui de deux corps de même nature égaux dans leurs dimensions, et ne présentant seulement des différences que dans l'état de leurs surfaces ; les effets obtenus ne sont dus alors qu'à ces différences.

Lorsqu'on frotte rapidement l'un contre l'autre deux disques de liége, disposés comme il a été dit, mais dont l'un a une surface lisse obtenue avec un instrument tranchant, et l'autre une surface couverte d'aspérités, si l'on

présente simultanément les deux surfaces préparées aux deux faces de la pile, pour savoir si chacune d'elles prend ou non la même température, on obtient un courant dont le sens indique que le disque à surface couverte d'aspérités possède une température plus élevée que l'autre, dans un rapport tel que la déviation de l'aiguille varie de 1 à 10°, suivant le temps que le frottement a duré.

Un morceau de verre poli et un morceau de verre dépoli produisent le même effet, c'est-à-dire, que le premier prend moins de chaleur que le second. Il semble résulter de là que les surfaces qui ont le plus grand pouvoir absorbant sont celles qui s'échauffent le plus. Voici les résultats obtenus dans diverses expériences :

FROTTEMENT EXERCÉ PENDANT UNE MINUTE.

SUBSTANCES FROTTÉES.	DIFFÉRENCE de température en plus ou en moins.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée. Moyenne.	MÉTAUX fonctionnant seuls. Déviations.
Verre poli..... Liége.....	Plus..... Moins.....	38°, 42°, 41°.....	34° 5°
Argent..... Liége.....	Plus..... Moins.....	32°, 33°, 35°, 33°..	50° 12°
Argent..... Verre poli	Plus..... Moins.....	10°, 9°, 8°, 13°, 11°.	....
Caoutchouc..... Liége.....	Plus..... Moins.....	30°.....	29° 11°
Verre dépoli..... Liége.....	Plus..... Moins	48°.....	40° 7°
Fer..... Liége.....	Plus..... Moins.....	64°.....	53° 6°
Argent..... Satin blanc.....	Plus..... Moins.....	47°...	
Argent..... Satin noir.....	Plus..... Moins.....	3°.....	
Satin noir..... Liége.....	Plus..... Moins.....	6°.....	
Liége..... Cire d'Espagne...	Plus..... Moins.....	27°.....	
Or ..... Liége.....	Plus..... Moins.....	30°.....	
Cire d'Espagne... Verre dépoli.....	Plus..... Moins.....	5°.....	

Autre série d'expériences : les corps étaient taillés en disques de 8 millimètres de diamètre et 3 millim. d'épaisseur. Le frottement a duré une minute.

FROTTEMENT EXERCÉ PENDANT UNE MINUTE.

SUBSTANCES FROTTÉES.	DIFFÉRENCE de température en plus ou en moins.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée. Moyenne.	MÉTAUX fonctionnant seuls. Déviations.
Spath d'Islande...	Plus.....	1re expér..... 13°	
Liége.....	Moins.....	2e ..... 14°	
		3e ..... 16°	
Succin poli.....	Plus.....	1re expér..... 28°	
Liége.....	Moins.....	2e ..... 32°	
		3e ..... 30°	

Ces expériences nous montrent 1° qu'avec le verre poli et le liége, le premier prend plus de chaleur que le second dans un rapport tel que, chacun d'eux agissant séparément, les déviations de l'aiguille aimantée sont comme 34 : 5; et comme ces déviations correspondent à des intensités de courant égales à 39 et 5, il s'ensuit que les quantités de chaleur prises pendant le frottement, et transmises à la pile, sont entre elles dans le même rapport; 2° qu'avec le verre dépoli et le liége, le rapport des déviations est comme 40 à 7, et celui des intensités de chaleur comme 37 : 7; 3° qu'avec l'argent et le liége, le rapport des déviations est comme 50 : 12, et celui des intensités comme 78 : 12; 4° qu'avec le caoutchouc et le liége, le rapport des déviations est comme 29 à 11, et celui des intensités comme 31 à 11.

Les expériences dont je viens de rapporter les résultats ont été faites sans l'emploi d'instruments capables de mesurer le frottement avec exactitude, sous le rapport de la vitesse et de la pression; mais on acquiert une telle habitude, en opérant comme je l'ai indiqué, que les résultats ne présentent pas des différences considérables, ce qui prouve que les conditions relatives au frottement sont à peu près les mêmes; ainsi avec l'argent

et le liége on a eu des déviations de 32°, 33°, 35°, avec l'argent et le verre poli 10, 9, 8, 13, 11.

Des nombreux résultats que j'ai obtenus dans le frottement des corps de nature différente, je ne puis encore tirer des lois simples, vu les causes diverses qui concourent à l'effet général. Il paraît seulement que la nature du corps, abstraction faite de la conductibilité, exerce une influence que l'état de la surface ne détruit pas toujours.

Il m'a été impossible de trouver jusqu'ici la véritable cause de cette influence qui dépend de la nature des corps, et probablement de l'arrangement de leurs molécules; mais c'est déjà beaucoup de la signaler par l'expérience, parce qu'elle nous donne un élément de plus que la théorie de la chaleur pourra prendre désormais en considération.

Si le frottement produit des effets de chaleur dont les lois paraissent si compliquées, on doit avoir également des effets très-remarquables quand on ébranle suffisamment les molécules par la percussion, au point de les séparer. Les expériences n'ont pas encore été poussées jusque-là. Il serait à désirer que l'on pût mesurer par approximation la quantité de chaleur qui se dégage dans un corps, quand on détruit la force d'agrégation de ses molécules.

CHAPITRE II.

DE LA MESURE DE LA TEMPÉRATURE DES LACS ET DE LA MER A DIVERSES PROFONDEURS.

1537. Depuis que j'ai fait connaître (1) les procédés à l'aide desquels on peut trouver la température des parties intérieures des corps organisés, à l'aide d'effets thermo-électriques, on en a fait diverses applications que je vais faire connaître.

Dans le voyage que j'ai fait, il y a quelques années, avec M. Breschet, en Suisse et en Italie, nous avons cherché à déterminer la température des lacs en faisant usage, comme pour la détermination de la température animale, de deux fils, l'un de cuivre, l'autre de fer, soudés par un de leurs bouts et en communication par les deux autres bouts avec un multiplicateur à fil court; la longueur de ces deux fils était suffisante pour que l'une des soudures pût être placée dans la partie dont on voulait connaître la température, tandis que l'autre était dans l'air. Le fer est si mauvais conducteur, qu'un fil de ce métal, d'un millimètre de diamètre et de 150 mètres de longueur, faisant partie d'un circuit fer et cuivre, donne des effets thermo-électriques à peine sensibles pour des différences de température qui varient de 4 à 15 degrés. Aussi ne doit-on pas dépasser ces dimensions si l'on veut avoir des résultats appréciables. Les

(1) Tom. v, 1re partie.

deux fils doivent être étamés dans toute leur longueur, recouverts de soie et goudronnés, si l'on veut les soustraire à l'action chimique de l'eau. Ces précautions prises, on est assuré que l'appareil n'accuse plus que des courants électriques toutes les fois que les deux soudures ne possèdent pas la même température.

Pour opérer facilement, les fils sont enroulés sur une roue à gorge, traversée par un axe qui est appuyé sur deux montants, et auquel on imprime un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle appliquée à l'extrémité.

L'appareil thermo-électrique peut être employé avec succès lorsqu'il s'agit d'étudier les variations qu'éprouve la température de la terre à une profondeur trop grande pour y placer, à poste fixe, un thermomètre. Dans le cas où cette profondeur n'excède pas une vingtaine de mètres, on obtient des fractions de degré. La meilleure méthode pour opérer est d'introduire l'une des soudures dans un trou convenablement pratiqué, que l'on remplit ensuite avec les substances qui en ont été retirées. L'autre soudure reste dans l'air. Les déviations de l'aiguille aimantée indiquent nécessairement la différence qui existe entre la température de l'air et celle de la région où se trouve la seconde soudure. La température de l'air étant connue, on en déduit immédiatement celle de la région inférieure. Dès lors rien n'est plus facile que d'étudier les variations qu'éprouve cette température.

Si l'on veut avoir la température d'un lac, on commence par attacher à l'une des soudures un lest de nature quelconque, du poids de deux kilogrammes environ, qui sert à descendre dans l'eau le double fil. Le multiplicateur accuse immédiatement, par la déviation de l'aiguille aimantée, l'abaissement de température du liquide, à mesure que l'on descend les points de jonction fer et cuivre. Cet instrument a un avantage que ne possèdent pas les thermomètres à minima : ces derniers exigent un certain temps pour prendre la température ambiante, de sorte qu'il faut faire une expérience chaque

fois que l'on change de milieu, tandis que le thermo-multiplicateur donne des effets instantanés.

Voici les résultats d'une expérience que nous avons faite, M. Breschet et moi, dans le lac de Genève, à 6 mètres environ de l'escarpement du rocher sur lequel est construit le château de Chillon. L'une des soudures se trouvait dans l'arsenal, dont la température était de 14°,80; l'autre a été descendue successivement à diverses profondeurs. Des essais préalables avaient indiqué qu'un degré de déviation de l'aiguille aimantée correspondait à 1°,10 de température centigrade. On a obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

PROFONDEUR.	DÉVIATION.	TEMPÉRATURE correspondante.
104 mètres.....	..... 7,50 à gauche....	 6,50
80	..... 7,50	 6,50
60	..... 6,50	 7,60
40	..... 5	 9,00
20	..... 3	 12,30
à la surface.....	... .. 4,50 à droite.....	 19,80

Ces résultats indiquent que la diminution de la température des eaux du lac, où affluent continuellement des eaux provenant de la fonte des neiges qui recouvrent la cime des Alpes, ne suit pas une loi uniforme; qu'à 104 mètres de profondeur, la température est encore de 6,50, au lieu de 5,60, qui est celle que Saussure a trouvée dans diverses parties du lac de Genève, à 2 ou 300 pieds de profondeur et loin des bords.

Nous ferons remarquer que notre expérience a été faite à une distance peu considérable du rocher de Chillon, qui possède une température propre, laquelle augmentant à mesure que l'on s'éloigne de la surface du sol, doit réchauffer nécessairement l'eau environnante.

Ce qui porte à croire que cette explication est fondée, c'est que Saussure a obtenu dans le lac Majeur, situé

sous un climat plus doux que le lac de Genève, et qui reçoit également les eaux provenant de la fonte des neiges, à 335 pieds de profondeur, une température de 6,75 centigrades, la température de la surface de l'eau étant de 25. Cet exemple prouve que l'influence des causes qui tendent à réchauffer quelquefois l'eau des lacs s'étend jusqu'au delà de 100 mètres.

J'ai montré la nécessité de recouvrir les fils de métal d'une matière qui ne permette pas au liquide, dans lequel est plongé le couple thermo-électrique, de réagir chimiquement sur les métaux. Nous en avons acquis la preuve, en cherchant à évaluer la température d'une source d'eau thermale, qui se trouve au milieu du Rhône, à peu de distance de Saint-Maurice, en Valais. Notre sonde thermo-électrique ayant séjourné pendant quelques instants dans cette eau, le goudron fut fondu, et le fer attaqué de manière à produire des effets électro-chimiques qui nous ont empêchés de continuer l'expérience.

On voit donc, qu'en général, dans les recherches thermo-électriques, on ne saurait trop se mettre en garde contre l'altération des métaux qui plongent dans les sources de chaleur; sans cela il serait impossible d'évaluer exactement les températures.

CHAPITRE III.

DE LA DÉTERMINATION DE LA TEMPÉRATURE DES TISSUS ET DES LIQUIDES ANIMAUX.

§ Ier. *Considérations générales.*

1538. Il est depuis longtemps reconnu que tous les corps organisés vivants ont une température qui leur est propre, et qui, dans plusieurs classes d'animaux, est supérieure au milieu dans lequel ils existent, et qu'ils ont la faculté de conserver, indépendamment de toutes les causes environnantes qui tendent à l'augmenter ou à l'affaiblir. Ils possèdent donc le pouvoir de produire de la chaleur.

Il existe aussi des animaux dont la chaleur propre est en équilibre avec la température des corps ambiants.

La production de la chaleur et la conservation au même degré, quelle que soit la température de l'air, de l'eau, ou de tout autre milieu où se trouve plongé l'animal, est un des phénomènes vitaux les plus étonnants. Existe-t-il un foyer particulier de cette chaleur dans les corps organisés? Est-elle produite sur un point pour être ensuite distribuée partout? ou bien se forme-t-elle sur place dans tous les lieux où l'organisation et la vie se trouvent réunies? La physiologie ne répond jusqu'ici à ces questions que par des hypothèses ou des présomptions.

L'étude de ce point de physique et de physiologie est d'un haut intérêt pour la science, et l'on peut espérer pouvoir arriver un peu plus loin que nos prédécesseurs, en mettant en usage les procédés thermo-électri-

ques, que nous possédons aujourd'hui pour mesurer la chaleur.

C'est ce motif qui m'a engagé à me réunir de nouveau à M. Breschet, 1° pour constater la température des solides et des liquides organiques, en appréciant avec plus de rigueur et de certitude qu'on ne l'avait fait jusqu'ici, les différences de ces températures et les causes de leurs variations; 2° pour étudier cette température tour à tour dans les liquides et les solides organiques, au milieu de circonstances diverses; 3° pour reconnaître si tous les liquides et les solides des animaux étaient doués de la même température sur les divers points de la machine animale et dans les lieux plus ou moins éloignés des centres nerveux ou vasculaires; 4° si ces centres nerveux ou vasculaires, si les liqueurs, et surtout le sang qui sort de ces derniers centres, étaient des foyers de chaleur.

§ II. *De la température de l'homme et du chien dans les plaines et sur les montagnes.*

1539. Les expériences sur la température animale, dont j'ai fait connaître les résultats (1), exigeaient qu'elles fussent répétées dans les vallées et sur les plus hautes montagnes, afin de s'assurer si elle ne variait pas suivant la densité de l'air.

On sait qu'à mesure que l'on s'élève dans les pays à montagnes très-élevées, la respiration devient accélérée par la difficulté que l'on éprouve à respirer. Les poumons, devant toujours absorber la même quantité d'air, redoublent d'efforts pour qu'il n'y ait aucune interruption dans leur jeu; il en résulte nécessairement une gêne dans la respiration. On devait rechercher si, dans ce cas, la température animale n'éprouverait pas des changements particuliers.

Nous avons fait des expériences comparatives à Mar-

(1) Tom. IV, p. 643, etc.

tignac, en Valais, dans la vallée du Rhône, et à l'hospice du grand Saint-Bernard, où les religieux qui le desservent nous ont procuré avec une complaisance parfaite tout ce qui était nécessaire pour nos expériences ; plusieurs d'entre eux même nous ont aidés. Nous citerons surtout avec éloge et une vive reconnaissance, M. Barras Clavendier, de l'hospice.

Des essais préliminaires nous avaient montré que la sensibilité du multiplicateur était telle qu'un degré de déviation de l'aiguille aimantée correspondait à 0,11 de température centigrade.

A Martignac :

DÉSIGNATION DES PARTIES.	TEMPÉRATURE centigrade.	DIFFÉRENCE.
Muscle biceps d'un jeune homme de 20 ans qui nous accompagnait	36° 90	
Muscle biceps d'un habitant du pays	36 80	
Muscle biceps d'un crétin	37	
Muscle biceps d'un crétin, frère du précédent.	37	
Muscle fléchisseur de la cuisse droite d'un chien	38 70	
Muscle fléchisseur de la cuisse gauche	38 80	

A l'hospice du grand Saint-Bernard, dans une cellule où la température était de 14° centigr. :

DÉSIGNATION DES PARTIES.	TEMPÉRATURE. centigrade.	DIFFÉRENCE.
Muscle biceps du jeune homme de 20 ans ci-dessus mentionné	36° 95	
Muscle biceps d'un homme de peine employé à l'hospice depuis 4 ans	36 80	
Muscle biceps d'une autre personne	37	
Muscle fléchisseur de la cuisse droite du chien ci-dessus mentionné	38 60	
Muscle fléchisseur de la cuisse gauche	38 70	

Ces nombres, qui sont les moyennes des résultats ob-

tenus dans diverses expériences, montrent qu'il n'existe pas de différence sensible entre la température des muscles de l'homme et ceux du chien dans la vallée du Rhône et au grand Saint-Bernard, et que le séjour d'un homme, pendant quelques années, dans les hautes régions des Alpes, n'a pas modifié d'une manière appréciable à nos appareils la température de ses muscles.

§ III. *De la différence qui existe entre la température du sang artériel et celle du sang veineux.*

1540. On a fait jusqu'ici peu d'expériences pour reconnaître la différence qui existe entre la température du sang artériel et celle du sang veineux. Les premières recherches qui aient attiré sérieusement l'attention des physiologistes à cet égard sont dues à M. John Davy. Les résultats obtenus par cet habile physicien ont été l'objet de quelques critiques. Cependant les nombres obtenus dans diverses expériences sont trop rapprochés les uns des autres pour supposer qu'il ait commis de graves erreurs. A la vérité, le mode d'expérimentation qu'il a employé pouvait faire croire que les températures obtenues n'étaient pas précisément les mêmes que celles que possèdent les vaisseaux dans l'état normal. M. John Davy a opéré de la manière suivante :

Ayant découvert la veine jugulaire interne et la carotide de différents animaux, il a introduit dans le premier de ces vaisseaux un thermomètre ayant un réservoir assez petit pour ne pas gêner la circulation du sang, puis le même instrument dans le second vaisseau. Il a obtenu, dans des expériences faites sur cinq agneaux, des résultats dont la moyenne donne + 0°,74 centigr., pour la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux.

Nous avons cherché aussi à évaluer cette différence, en employant les ressources que les phénomènes thermo-électriques mettaient à notre disposition, et, sans mériter les reproches qu'on avait adressés au physicien

anglais, de désorganiser les vaisseaux et de gêner plus ou moins la libre circulation du sang par l'introduction de la boule du thermomètre dans le canal vasculaire, nous avons pris deux aiguilles (fig. 3) composées chacune des deux autres, l'une de cuivre et l'autre d'acier, soudées à l'une de leurs extrémités seulement, sur une étendue de un à deux millimètres, et légèrement recourbées à cette même extrémité, qui est terminée en pointe très-fine, afin de pouvoir être introduite dans les vaisseaux sans produire d'hémorragie.

A partir de la pointe, les aiguilles vont en s'écartant, et on les assujettit avec de la soie à une tige en ivoire, que l'on tient toujours entre les doigts, dans la crainte de communiquer de la chaleur au métal.

Ces deux aiguilles, après avoir été mises en communication, d'abord l'une avec l'autre, au moyen d'un fil d'acier, puis chacune d'elles avec le multiplicateur à fil court, ont servi à faire des expériences sur quatre chiens de moyenne grandeur.

L'une d'elles a été mise dans l'aorte, à sa sortie du cœur, l'autre dans la veine cave descendante, avant son entrée dans l'oreillette droite. La poitrine était ouverte; les poumons affaissés ne remplissaient que très-imparfaitement leurs fonctions, et le sang qui suintait de l'aorte paraissait presque noir. L'aiguille du multiplicateur s'est déviée immédiatement de trois degrés en faveur du sang artériel. Or, comme une expérience préalable, faite avec l'appareil à température constante de M. Soret, indiquait qu'une déviation d'un degré correspondait à 0,28 de chaleur, il en résulte que la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux était, dans cette circonstance, de 0,84. Cette expérience est la première que nous ayons faite pour constater la différence qui existe entre la température du sang artériel et celle du sang veineux. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus sur trois autres chiens :

POSITION DES AIGUILLES.	Déviation de l'aiguille aimantée.	TEMPÉRATURE centigrade.
2e Chien.		
Une des aiguilles placée dans l'artère crurale, l'autre dans la veine correspondante.....	... . 4°	..... 1°,12
L'ordre des aiguilles a été interverti ; celle qui était dans l'artère crurale a été mise dans la veine correspondante, *et vice versâ*,	..... 4°	..... 1°,12
3e Chien.		
Une des aiguilles dans l'artère crurale, l'autre dans la veine correspondante.....	..... 3°	..... 0°,84
L'ordre des aiguilles interverti...	..... 3°	..... 0°,84
4e Chien.		
Une des aiguilles dans l'artère carotide, à sa partie inférieure, le plus près possible du cœur, l'autre dans la veine crurale vers sa partie moyenne.....	..... 3°	..... 0°,84

La moyenne de ces résultats nous indique que la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux, dans les chiens de moyenne grandeur, est de 1°,01. Nous n'avons pas continué plus longtemps les expériences, parce que les résultats étaient toujours sensiblement les mêmes. M. John Davy, ainsi qu'il a été dit, avait obtenu, sur des agneaux, pour moyenne, 0°,74, c'est-à-dire, 0°,37 moins que nous sur des chiens. Il est assez difficile d'obtenir une concordance plus grande dans des expériences aussi délicates que celles que nous rapportons, surtout quand les vaisseaux n'ont pas un grand diamètre.

Nous avons interverti l'ordre des aiguilles pour être assurés de l'exactitude des résultats, c'est-à-dire, que l'une a été mise à la place de l'autre, et réciproquement, nous n'avons pas trouvé de différence. On a déterminé ensuite, au moyen de l'appareil à température constante, la température réelle de la veine jugulaire et celle de l'artère crurale. Nous avons reconnu que l'une était de 38° et l'autre de 38°,90, au lieu de 39°,01 ; cette légère différence tient à des causes qui nous ont échappé.

1541. Nous avons essayé de voir comment la tempé-

rature varie, dans le même système artériel ou veineux d'un chien de moyenne grandeur, à mesure que l'on s'éloigne du cœur. Les résultats obtenus nous ont indiqué une très-faible différence en faveur des parties les plus rapprochées du cœur :

POSITION DES AIGUILLES.	DÉVIATION de l'aiguille.	TEMPÉRATURE centigrade.
L'une des aiguilles dans la carotide, l'autre dans l'artère crurale.....	En faveur de la carotide....0,15	..... 0°,15
2e Chien.		
L'une des aiguilles dans la veine jugulaire externe l'autre dans la veine crurale.....	En faveur de la jugulaire...1°	..... 0°,3

Nous voyons par là que la température, dans le systéme artériel ou veineux, paraît diminuer à mesure qu'on s'éloigne du cœur. Nous avons vérifié l'exactitude de ces résultats en changeant de place les aiguilles. La température du muscle grand pectoral a été trouvée de 40°, celle du tissu cellulaire sous-cutané de 38°,50. Après une préparation préalable, qui a forcé d'enlever le sternum, l'une des aiguilles a été placée dans l'oreillette droite du cœur et l'autre dans l'oreillette gauche. On a obtenu une déviation de 3°, correspondant à 0°,90 de degré centigrade en faveur de celle-ci : dès lors il existe une différence d'un peu moins d'un degré entre la température de l'oreillette gauche du cœur et celle de l'oreillette droite.

Les faits précédents établissent bien : 1° que la température de l'intérieur du corps de l'homme et des animaux ne paraît pas éprouver de variations quand ils vivent dans les plaines et sur les hautes montagnes; 2° qu'il existe réellement une différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux, que l'on peut évaluer à 1°,01 dans le chien; 3° que l'on est porté à croire, d'après deux expériences qui ont cependant besoin d'être répétées sur de grands animaux, que

la température, dans le même système artériel et veineux, va en diminuant en allant du cœur aux extrémités.

§ IV. *Modifications apportées dans le procédé thermo-électrique destiné à mesurer la température des tissus organiques du corps de l'homme et des animaux.*

1542. L'emploi que j'ai fait des aiguilles métalliques mixtes, d'un diamètre moindre qu'un millimètre, pour déterminer la température des parties intérieures des corps organisés, exige des précautions délicates dont j'ai déjà fait connaître quelques-unes (1), et sans lesquelles il n'est pas possible d'obtenir des résultats sur l'exactitude desquels on puisse compter.

Lorsqu'on plonge une barre de métal par l'une de ses extrémités dans une source de chaleur qui n'est pas capable de réagir chimiquement sur ses parties constituantes, cette barre s'échauffe de proche en proche jusqu'à une distance plus ou moins éloignée de la partie immergée, laquelle dépend de la nature du métal, des dimensions de la barre, de la température de la source et de celle de l'air ambiant.

Les diverses sections de la barre, à partir de la source de chaleur et jusqu'à une certaine distance, prennent donc des températures différentes, supérieures à celle de l'air ambiant. Mais aussitôt que chacune d'elles a atteint la température qu'elle doit conserver, c'est-à-dire, son état d'équilibre, l'expérience prouve que, pour des distances à la source qui croissent en progression arithmétique, les excès de température décroissent en progression géométrique, toutes les fois que les excès de la température de la barre sur celle du milieu ambiant ne dépassent pas 20 à 30°. D'un autre côté, la propagation

(1) T. IV, p. 9 et suiv.

de la chaleur variant avec les dimensions de la barre, la perte de chaleur étant proportionnelle à l'aire des surfaces extérieures, et la quantité de chaleur qui traverse étant aussi proportionnelle à l'aire de la section, le décroissement de la température devra donc être d'autant plus considérable que le contour sera moindre. L'expérience prouve positivement que, dans deux barres de même métal, n'ayant pas la même section transversale, les distances du foyer aux points où la température est la même, sont entre elles comme les racines carrées des épaisseurs, ou comme les racines carrées de leurs rayons, si les barres sont des cylindres. Il suit de ces diverses observations, que plus les cylindres ou les aiguilles métalliques auront des diamètres petits, moins la source de chaleur se refroidira quand sa température sera capable de varier par la présence de ces aiguilles. De là la nécessité d'opérer avec des aiguilles d'un petit diamètre; celles dont je me sers ont moins d'un millimètre de diamètre.

Il résulte encore des observations précédentes, que, lorsqu'on cherche à déterminer la température des parties intérieures de l'homme, qui est d'environ 37°, il faut le placer dans un milieu dont la température soit d'environ 18 ou 20°. Si cette condition ne suffit pas encore, il faut trouver, par des expériences préalables, les effets dus au refroidissement produit dans les muscles par la présence des aiguilles. C'est un point sur lequel je n'ai peut-être pas assez insisté dans mes précédents mémoires.

Le procédé pour trouver la température intérieure du corps de l'homme, consiste, comme on l'a vu, à faire usage de deux aiguilles, composées chacune de deux autres, l'une de cuivre, l'autre d'acier, soudées par un de leurs bouts. L'une des soudures est placée dans un milieu dont la température reste constante pendant la durée de l'expérience, tandis que l'autre est introduite dans la partie dont on veut mesurer la température. Ces deux aiguilles communiquent ensemble, d'une part,

par leur bout acier, avec un fil d'acier de même nature, et de l'autre, par leur bout cuivre, avec les extrémités du fil d'un excellent multiplicateur thermo-électrique.

Lorsque les deux soudures ont la même température, l'aiguille aimantée n'est pas déviée; mais, pour peu qu'il y ait une différence dans les deux températures, ne fût-elle que de 0,1 de degré, il y a une déviation dont le sens et l'étendue servent à évaluer exactement cette différence, et, par suite, la température d'un des milieux, quand celle de l'autre, qui est constante, est connue.

1543. La source constante que j'ai l'habitude d'employer est fournie par l'appareil de M. Sorel, ou par la bouche d'une personne habituée à ce genre d'expérimentation. L'appareil Sorel conserve bien pendant quelques heures une température qui ne varie que de quelques dixièmes de degré; mais la masse d'eau qui la donne est tellement considérable, que la soudure que l'on y plonge se met promptement en équilibre de température avec elle, malgré les pertes qu'éprouvent les parties de l'aiguille situées en dehors, lesquelles pertes sont promptement réparées. Dans ce cas, la température accusée par la soudure est bien celle du milieu dans lequel elle se trouve. Il n'en est pas de même de la température accusée par la seconde soudure, qui se trouve dans un muscle à peu de distance de la peau, lequel muscle, en raison des tissus dont il se compose, de leur peu d'étendue et de leur mauvaise conductibilité, ne doit pas être considéré comme une source de chaleur égale à l'autre. Aussi trouve-t-on, quand on opère dans un milieu dont la température est inférieure à 18 ou 20°, une différence en faveur de l'appareil, lors même que la température de ce dernier est la même que celle du muscle.

En employant la bouche comme source de chaleur constante, on n'a plus à craindre autant les différences que nous venons de signaler, parce que les deux sources

ont de l'analogie entre elles sous le rapport de leur constitution.

Je suis entré dans quelques détails sur les précautions à prendre quand on cherche à mesurer la température intérieure des corps organisés, afin de mettre à même les personnes qui voudront se servir du procédé électrochimique, d'éviter les causes d'erreurs indiquées.

1544. Je vais exposer maintenant les expériences que j'ai faites avec M. Breschet, pour montrer jusqu'à quel point la bouche peut remplacer l'appareil à température constante.

Chacune des soudures a été mise dans la bouche d'un jeune homme de vingt-deux ans, entre le palais et la langue, avec laquelle on exerçait une légère pression sur l'aiguille métallique, afin d'éviter les variations résultant du passage de l'air aspiré. L'aiguille aimantée fut déviée de $1^{\circ}\frac{1}{2}$ en faveur de l'une des deux branches. Les soudures ayant été changées de bouche, la déviation fut de 2° dans un autre sens, au lieu de $1\frac{1}{2}$. La différence d'un demi degré, correspondante à $\frac{1}{10}$ de degré de température, provenait très-probablement de ce que les soudures n'avaient pas été placées de la même manière dans les deux expériences. Les effets n'ont pas varié pendant un quart d'heure.

On voit donc, qu'avec certaines précautions, on peut se servir de la bouche comme source de température constante, quand on s'est habitué, par des essais préalables, à maintenir toujours la soudure dans la même position et à respirer par le nez, afin de ne pas introduire de l'air froid dans la bouche.

Une des soudures ayant été mise dans l'appareil Sorel marquant $36^{\circ},40$, l'autre dans la bouche d'un jeune homme, la déviation de l'aiguille aimantée fut de deux degrés en faveur de la bouche, ce qui indiquait une température de $36^{\circ},40$, au lieu de $36^{\circ},50$, accusée par le thermomètre, différence bien faible, qui est due à des causes inaperçues.

On a laissé la soudure dans la bouche où elle se trou-

vait, et l'on a mis l'autre dans le muscle biceps du second jeune homme; la température de l'air était de 14°, inférieure, par conséquent, à celle qui est nécessaire pour le succès des expériences; on a eu une déviation de 4° en faveur de la bouche. La température du biceps, donnée par l'aiguille, n'était donc que de 36°, 20, au lieu de 36°, 60, qui est la température moyenne que nous avons trouvée dans nos précédents mémoires. La soudure qui se trouvait dans la bouche en a été retirée pour être placée dans l'appareil Sorel, qui marquait 38°, 50 au thermomètre centigrade. La déviation de l'aiguille aimantée a été de 10° en faveur de l'appareil. La bouche possédait donc une température de 36°, 50, comme nous l'avons trouvé précédemment. Je le répète, la bouche peut être employée avec avantage comme source de température constante.

1545. Nous avons été naturellement amenés à faire quelques expériences touchant l'influence des variations de la température ambiante sur la température des muscles de l'homme. Cette question, qui occupe les physiciens et les physiologistes depuis quelques années, n'est pas encore complétement résolue; ainsi les résultats que nous avons obtenus ne seront pas sans intérêt pour la science.

Il est constant que l'homme, ainsi que les animaux à sang chaud, peuvent vivre dans une atmosphère ayant une température qui diffère de la leur de près de 80°, puisque les habitants des régions polaires, couverts, à la vérité, de vêtements convenables, se trouvent exposés une partie de l'année à la température de la congélation du mercure. Dès lors, l'homme ainsi que les animaux à sang chaud possèdent en eux la faculté d'augmenter, dans un temps donné, la chaleur qu'ils développent. Quant à la faculté qui leur est propre, pour résister à des températures assez élevées, sans qu'il en résulte un désordre sensible dans l'économie animale, nous rappellerons les expériences de Banks, Blagden et Fordyce, qui sont restés exposés pendant quelques instants à une

température de 125° sans trouver de changement sensible dans leur température, évaluée probablement d'après celle de la bouche.

D'un autre côté, Berger et Delaroche s'étant exposés à une température de 49°, ont trouvé leur température augmentée de 4°, et Delaroche étant resté seul dans une étuve à 90°, pendant 16 minutes, a constaté que la sienne ne s'était accrue que de 5°.

Le capitaine Parry rapporte que, dans les régions polaires, où la température est plus basse que celle de la congélation du mercure, la température de l'homme n'est pas sensiblement modifiée. Cette dernière observation est contredite par John Davy et quelques autres qui ont trouvé que la température de l'homme s'accroît en allant des pôles à l'équateur.

1546. Sans chercher à entrer dans l'examen des résultats contradictoires que nous venons de rapporter, nous nous bornerons à exposer les expériences que nous avons faites sur le même sujet.

On introduisit dans le muscle biceps du bras droit de deux jeunes gens, chacune des soudures de deux aiguilles parfaitement semblables; la température de l'air ambiant était de 16°. L'aiguille aimantée ne fut pas déviée d'une manière appréciable : les deux muscles avaient donc exactement la même température. Un des bras en expérience fut plongé successivement, jusqu'à la saignée, pendant un quart d'heure, dans de l'eau à 10°, à 8°, à 6°, puis à 0. L'expérience dura environ une heure : la déviation de l'aiguille aimantée ne fut que de deux degrés en faveur du muscle non immergé, ce qui indiquait un abaissement de température dans l'autre d'environ $\frac{1}{5}$ de degré. Le même bras ayant été plongé ensuite dans l'eau à 42° pendant quinze minutes, la température du muscle immergé ne fut augmentée que de $\frac{1}{5}$ de degré.

Ces expériences ayant été répétées à diverses reprises, nous n'avons jamais trouvé que de très-faibles différences dans la température des muscles. Ces résultats ont été confirmés par les expériences que nous avons faites aux

bains d'eaux minérales de Louech Valais, il y a quatre ans, et à Paris, il y a peu de temps, avec le secours de M. Séguin, élève externe de l'Hôtel-Dieu, qui a bien voulu se prêter à nos recherches avec un dévouement digne d'éloges. Nous ne nous sommes pas bornés à mettre le bras dans de l'eau ayant une température élevée, nous y avons plongé le corps entier. Les eaux de Louech étaient à 49° centigrades.

La température de l'appareil Sorel marquait 35°50; l'une des soudures y fut placée, tandis que l'autre fut introduite dans le muscle biceps de M. Séguin. La déviation de l'aiguille aimantée fut de 12° en faveur du muscle, ce qui indiquait une température de 36°70. M. Séguin ayant été mis dans le bain à 49°, il y resta 20 minutes. La déviation de l'aiguille aimantée varia de 12°, à 13°, à 14°, suivant que l'aiguille était plus ou moins rapprochée de l'eau. La température des muscles avait donc augmenté de $\frac{1}{5}$ à $\frac{2}{7}$ de degré. Au sortir du bain, la déviation de l'aiguille aimantée revint à 12°, comme elle était auparavant. Le pouls de M. Séguin battait 112 pulsations pendant qu'il était dans le bain.

On a obtenu le même résultat sur un jeune Tyrolien, ouvrier charpentier, vigoureusement constitué. Nous n'avons pas voulu répéter les expériences à une température plus élevée, dans la crainte de compromettre la santé des personnes qui avaient bien voulu se prêter à nos recherches. Mais nous les avons recommencées à Paris, à une température un peu inférieure à 49°, avec l'aide de M. Séguin et de M. Costille, également élève externe à l'Hôtel-Dieu. Une des soudures ayant été mise dans la bouche de M. Costille, dont la température était de 37°50 mesurée au thermomètre, l'autre dans le muscle biceps du bras droit de M. Séguin, la déviation de l'aiguille aimantée fut de 2°, en faveur de la bouche; ce qui indiquait une température de 37°10 pour le muscle. M. Séguin fut mis dans un bain à 49°50, et y resta pendant 20 minutes. La température du muscle ne changea pas, puisque la déviation de l'aiguille aimantée resta la même.

Cette expérience ayant été répétée sur M. Costille, donna le même résultat. Nous voyons, par les faits qui viennent d'être rapportés, que lorsque le corps de l'homme est en contact avec de l'eau dont la température varie de 0 à 49°, pendant 20 minutes, la température des muscles n'éprouve que de faibles variations. Peut-être n'en serait-il pas de même si le contact était prolongé pendant longtemps, comme les expériences de M. John Davy et d'autres physiciens portent à le croire; mais il est impossible de vérifier cette assertion, puisqu'il pourrait en résulter des désordres graves dans l'économie générale, un bain de 49° rubéfiant déjà fortement la peau en portant le sang à la tête.

Nous pouvons conclure aussi des faits observés, que les résultats obtenus par M. Delaroche, qui s'était placé dans une étuve ayant 49° de température, étaient dus en grande partie aux phénomènes de la respiration, qui modifiaient la température de la bouche.

1547. Nous rapporterons encore une expérience faite à Louech, et qui n'a pu être répétée à cause des difficultés qu'elle présentait. Cette fois, c'est un chien qui fut mis en expérience; ses muscles indiquaient une température de 38°50; plongé dans un bain à 49°, l'aiguille ne touchant pas à l'eau, la température du muscle extenseur monta successivement de un demi-degré à 1°, 1° ½ et 2°, et cela dans l'espace de cinq minutes. Le chien entra dans une telle colère qu'on fut obligé de le retirer de l'eau. Peu de temps après, la température de son muscle redevint ce qu'elle était d'abord.

La soudure fut introduite dans la poitrine; on obtint également un accroissement de température de plusieurs degrés, quelques instants après l'immersion dans le bain. Cet accroissement avait principalement lieu lorsque l'animal était violemment agité. J'ignore jusqu'à quel point l'état d'exaspération où se trouvait l'animal influait sur les effets que nous avons observés. Je rapporterai encore un résultat curieux, qui n'a aucun rapport avec les précédents, mais qui intéressera les physiologistes. Une des

soudures fut placée dans le biceps d'un jeune homme, l'autre dans le muscle grand supinateur du bras gauche d'un homme de 45 ans. L'aiguille aimantée ne fut pas déviée sensiblement. On ouvrit la veine, et l'on n'observa aucun changement de température pendant et après la sortie du sang. La soudure avait été placée le plus près possible de la veine. On tirera de ce fait telle conclusion que l'on voudra : mais la seule qui nous paraisse naturelle, c'est qu'*à priori* on devait penser qu'il en serait ainsi, parce que le sang, dont l'ouverture de la veine permettait la sortie, retournait au cœur, et qu'ayant déjà circulé dans les vaisseaux capillaires, il était devenu étranger à la composition des tissus en revenant à l'organe central de la circulation par les branches et les troncs veineux. Il n'aurait donc pu produire un abaissement de température dans le corps animal que par son écoulement abondant au dehors, et en produisant l'affaiblissement du sujet. Il convenait donc de faire l'expérience d'une autre manière. C'est pourquoi ayant pris un chien de moyenne taille, qui avait mangé peu d'heures avant l'expérience, nous avons placé une des soudures dans les muscles de la partie intérieure de la cuisse, tandis que la soudure d'une autre aiguille se trouvait dans la bouche d'un expérimentateur. Une ligature avait d'abord été jetée autour de l'artère fémorale, immédiatement au-dessous de la sortie de l'abdomen. La suspension du cours du sang dans ce vaisseau n'apporta aucun changement dans la température du membre, et à plusieurs reprises on a exercé ou suspendu la compression sur le tronc artériel sans pouvoir observer le moindre mouvement dans l'aiguille du multiplicateur. Fallait-il en conclure que les modifications dans la température des tissus dépendent bien moins de la circulation sanguine que de l'influx nerveux, ou bien que le résultat de cette dernière expérience tient à ce que, en ne liant que l'artère fémorale, nous n'avions pas intercepté tout abord du sang dans les vaisseaux de la cuisse, les

artères fessières et ischiatiques pouvant suppléer à l'artère fémorale?

1548. Pour avoir une solution positive de cette difficulté physiologique, nous avons embrassé par un double cordonnet de soie l'artère iliaque primitive, puis en plaçant un doigt sur le vaisseau dans le point correspondant à l'anse de la ligature, nous avons pu, à volonté, empêcher ou permettre la circulation du sang artériel dans le membre. Alors l'aiguille a été engagée dans l'épaisseur des parties charnues de la cuisse, et au bout de 18 minutes nous avons vu la température baisser d'un demi-degré environ. En permettant ensuite au sang de parcourir les vaisseaux artériels fémoraux, bientôt la température se rétablissait dans son état normal; cette expérience, répétée plusieurs fois, nous a donné le même résultat; quoique l'effet observé soit assez faible, il démontre néanmoins que le sang artériel exerce une influence directe sur la température des tissus. Ce n'est pas cependant au sang qui circule dans les troncs et les branches artériels qu'il faut attribuer cette influence, mais bien à celui qui parvient dans les vaisseaux capillaires. En effet, entre la suspension du cours du sang dans le membre et la diminution de température, il s'écoulait le plus communément de quinze à dix-huit minutes. Cependant le rétablissement de la température à son degré normal, lorsqu'on permettait au sang de parcourir les artères, était toujours plus rapide que la diminution de température lorsque l'on comprimait le tronc vasculaire principal.

Voilà pour ce qui regarde l'influence de la circulation artérielle sur la température des tissus animaux. Il serait important de voir ce que l'expérience apprendra touchant l'influence nerveuse, relativement à cette même température des tissus.

Les faits que je viens de rapporter montrent de nouveau le parti que l'on peut tirer des effets thermo-électriques pour évaluer la température des parties intérieures

de l'homme et des animaux, en prenant pour température constante, soit celle de l'appareil Sorel, soit celle de la bouche d'une personne exercée à ce genre d'expérimentation.

§ IV. *Détermination de la température dans divers cas pathologiques.*

1549. Avant de terminer, je donnerai encore les résultats que nous avons obtenus sur des individus atteints de diverses maladies, afin que le lecteur puisse juger de l'ensemble des recherches qui ont été faites pour appliquer les effets thermo-électriques à la détermination de la température animale.

1° Un homme, âgé de 32 ans, atteint d'une fièvre typhoïde, compliquée de bronchite.

Le pouls donnait 116 pulsations à la minute.

Température du muscle biceps brachial 38° 80

Température de la bouche..... 39 65

2° Un homme, âgé de 24 ans : entérite compliquée de bronchite.

116 pulsations à la minute.

Température du biceps brachial droit.. 39° 50

3° Jeune fille scrofuleuse dans un état fébrile bien marqué.

Température de la bouche..... 37° 50

Idem d'une tumeur scrofuleuse enflammée à la partie supérieure du cou.. 40 »

Température d'une tumeur fongueuse dans le tissu cellulaire..... 40 »

Température du biceps brachial..... 37 25

4° Demoiselle de 30 ans, tumeur du même genre.

Température de la bouche..... 36° 75

Idem d'une tumeur au cou..... 37 50

Idem du biceps brachial..... 37 »

Idem du tissu cellulaire adjacent..... 35 »

5° Femme atteinte d'un cancer au sein.

Température de la bouche..... 36° 60
Idem du cancer..... 36 60
Idem des fongosités exubérantes..... 36 60
Idem du muscle biceps brachial..... 36 60

6° Jeune homme dans un état fébrile très-prononcé.
Température du muscle biceps brachial. 38° 90

7° Jeune homme atteint d'une carie scrofuleuse des os du pied.
Température de la bouche..... 36° 50
Idem du biceps brachial..... 37 50
Idem de la plaie..... 32 »
L'aiguille traversait le tissu cellulaire et l'aponévrose plantaire.

8° Un homme, âgé de 45 ans, atteint d'une hémiplégie du côté gauche, avec commencement de gangrène sénile aux membres inférieurs.
Température du muscle biceps brachial, côté sain..... 36° 40
Idem, du côté malade..... 36 40
Idem, de la bouche..... 36 40
Idem, du muscle du mollet, côté paralysé..... 36 60
Idem, côté sain..... 36 60

9° Une femme, âgée de 49 ans, engourdissement et douleurs vives dans les membres inférieurs, à la suite d'une paraplégie.
Son pouls donnait 84 pulsations à la minute.
Température du muscle biceps brachial. 37° 14
Idem des adducteurs de la cuisse..... 37 55

10° Un homme, âgé de 50 ans, atteint d'un tremblement mercuriel.
Température du biceps brachial droit, côté qui tremble le plus fort..... 37° 04
Idem du biceps brachial gauche, côté qui tremble le moins..... 37 15

11° Hydropisie du ventre, avec affection du cœur.
Température du muscle biceps brachial. 37° 05
Idem du liquide se trouvant dans l'abdomen..... 37 65

12° Homme, âgé de 66 ans, atteint d'une hémiplégie.

Température du muscle biceps brachial. 36° 85

Idem, côté droit..... 36 85

13° Il était intéressant d'étudier la diminution de température dans un moribond, peu d'instants avant qu'il rendît le dernier soupir. Nous avons en conséquence expérimenté sur un homme attaqué d'une variole confluente, arrivée au dernier degré.

Le pouls battait 144 pulsations très-faibles à la minute.

Température du muscle biceps brachial. 35° 85

Idem de la main sur l'éminence thénar. 32 »

L'individu est mort quelques minutes après.

En résumé, nous voyons, en nous rappelant que la température des muscles est ordinairement d'environ 36° 87 :

1° Que l'état fébrile donne un accroissement de température dans ces organes, qui peut aller jusqu'à 3° centigrades ;

2° Que les tumeurs scrofuleuses fortement enflammées n'ont pas donné un accroissement plus considérable de température. Nous ferons remarquer que les parties purulentes ne participent pas à cet accroissement ;

3° Que le cancer n'a rien offert de particulier, si ce n'est un léger abaissement de température dans toutes les parties explorées ;

4° Que la paralysie n'a présenté non plus aucune différence bien sensible entre la température du membre malade et celle du membre paralysé ;

5° Qu'à l'instant de la mort, la température du biceps brachial s'était abaissée d'un degré et demi, et celle de la main, dans l'intérieur de l'éminence thénar, d'environ cinq degrés.

CHAPITRE IV.

DE LA MESURE DE LA CHALEUR DANS LES VÉGÉTAUX.

§ Ier. *Considérations générales.*

1550. Partout où il y a vie, il y a production de chaleur, car il ne peut y avoir vie sans élaboration de sucs vitaux, et par conséquent sans formation de composés chimiques. Il doit donc y avoir production de chaleur dans l'acte de la végétation en général. Je vais rappeler les principales observations qui ont été faites à cet égard.

On sait que l'arum vulgare dégage de la chaleur, du moins son spadix, à une époque déterminée de la floraison. Cette observation a été faite la première fois par Lamarck, sur l'arum italicum. M. de Candolle a remarqué que le dégagement de chaleur n'a lieu qu'une fois pour chaque chaton; qu'elle commence vers trois heures de l'après-midi, atteint son maximum vers cinq heures, et cesse à sept heures. Sennebier a reconnu que dans l'arum vulgare, la température est de 7° au-dessus de la température ambiante.

M. Schultz a avancé que la fleur d'un caladium pinnatifidum vigoureux avait une température de 19 à 20°, celle de l'air étant de 15°.

MM. Hubert et Bory ont avancé que l'arum cordifolium de l'Ile de France acquiert une température de 44°, et même de 49°, celle de l'air étant à 19°. Ils ont

reconnu, en outre, que le maximum de température a lieu dans cette espèce au soleil levé.

M. de Candolle pense, avec raison, que la chaleur de l'arum, ainsi que celle d'autres plantes, à l'instant de leur floraison, est due à la combinaison de l'oxigène de l'air avec le carbone de la plante. Ce principe étant incontestable, on ne peut douter un seul instant que toutes les plantes ne produisent un effet semblable, mais à un degré plus ou moins marqué.

M. de Saussure qui a fait plusieurs expériences à cet égard, avec un thermoscope très-sensible, a trouvé que les fleurs mâles du cucurbita-melopepo donnent, entre sept et huit heures du matin, une élévation de $\frac{1}{2}^{\circ}$ centigr.; les fleurs femelles en donnent un peu moins; les fleurs de bignonia radicans $\frac{1}{2}^{\circ}$; celles de tubéreuses $\frac{2}{10}^{\circ}$

Dans les recherches relatives à la détermination de la chaleur dans les fleurs et les plantes, en général, il faut avoir égard à la chaleur précédemment acquise, à l'évaporation, et probablement aussi à la couleur des fleurs qui, en raison de cette couleur, ont un pouvoir rayonnant différent.

1551. On sait qu'il existe des plantes qui supportent un degré élevé de chaleur sans cesser d'exister, ainsi que d'autres qui végètent à des températures élevées. Ainsi Sonnerat a vu dans l'Inde le vitex agnus-castus auprès d'une source marquant 62°; et Forster a trouvé le même arbuste au pied d'un volcan de l'île de Tanna, dont le terrain était à 80°. Je pourrais citer encore un grand nombre d'autres exemples semblables. Certaines plantes possèdent également la faculté de résister au grand froid. C'est ainsi que le noisetier fleurit quelquefois à une température de 6° au-dessous de 0. Sennebier a vu des fleurs de fèves supporter, en automne, un froid de 5° sans en paraître souffrir. Ne voit-on pas, d'un autre côté, que le chêne supporte, dans les pays septentrionaux, jusque 25° au-dessous de 0, et le bouleau jusqu'à 32?

Quelques physiologistes ont pensé que ces effets ne peuvent être produits qu'autant que les végétaux pos-

sèdent la faculté, comme les animaux, d'élever ou d'abaisser leur température par l'effet de l'action vitale.

Je ferai d'abord remarquer à cet égard que les diverses actions physiques et chimiques qui s'opèrent continuellement dans un végétal doivent produire, à chaque instant, des phénomènes de chaleur. C'est ainsi que l'évaporation d'une portion de l'eau absorbée et l'exhalaison du gaz oxigène, au soleil, doivent produire du froid, tandis que la fixation du carbone et celle d'une partie de l'eau doivent, au contraire, dégager de la chaleur. L'expérience seule peut faire connaître dans quel sens est la quantité de chaleur absorbée ou dégagée.

1552. Buffon a le premier avancé que, lorsque l'on coupe des arbres en hiver, l'intérieur du tronc paraît chaud, surtout dans la partie centrale, et que cet effet ne peut être attribué à la cognée.

Saussure a remarqué, d'un autre côté, que la neige fond plus promptement au pied des arbres vivants qu'au pied des arbres morts; mais cet effet ne pourrait-il pas provenir d'un phénomène de rayonnement extérieur dont Saussure n'a pas tenu compte?

J. Hunter, ayant introduit un thermomètre dans un trou oblique de 11 pouces de profondeur, pratiqué dans un tronc de noyer de 7 pieds de circonférence, et ayant mastiqué l'orifice du trou, trouva qu'en automne son instrument marquait 2 ou 3° de chaleur de plus que l'air ambiant.

Schœpff, à New-York, et Bierkander, en Suède, ont avancé que de l'automne au printemps la température de l'arbre est plus élevée que celle de l'air ambiant, et que c'est l'inverse du printemps à l'automne. Ces expériences répétées à Genève ont donné les mêmes résultats. Ces mêmes observateurs, ayant placé des thermomètres, les uns dans le tronc d'un gros marronnier, d'autres à diverses profondeurs en terre, reconnurent que les variations du thermomètre correspondaient sensiblement à celles d'un thermomètre situé à 4 pieds en terre, c'est-à-dire, à la profondeur moyenne des racines de l'arbre.

Une expérience de M. Hermstœdt vient confirmer encore l'existence d'une chaleur propre aux végétaux. Cet observateur a vu au mois de janvier que le suc sortant des érables percés était liquide, tandis que ce suc ne tardait pas à geler quand il était exposé à l'air. Un thermomètre placé dans l'intérieur de l'arbre a confirmé ce résultat. Sa température était de + 1° R., tandis que celle de l'air ambiant était de — 10° (1).

M. de Candolle a donné une explication satisfaisante de ces effets. L'eau, dit cet illustre botaniste, qui est aspirée par les racines s'élève verticalement dans le tronc : cette eau est au degré de température que le sol possède à la profondeur moyenne des racines de l'arbre ; elle est donc plus chaude que l'air en hiver, et plus fraîche en été. Par conséquent, en s'introduisant dans le tronc, elle tend sans cesse à le réchauffer dans la saison froide, et à le refroidir comparativement à l'air dans la saison chaude. Si l'on joint à cette explication pleine de justesse les observations de M. Auguste Delarive et Adolphe de Candolle, que le bois sec est plus mauvais conducteur de la chaleur dans le sens transversal que dans le sens longitudinal, on concevra comment l'ascension de la séve met continuellement le centre du tronc en équilibre de température avec le sol, tandis que toute la structure du corps ligneux, particulièrement du corps de l'écorce, empêche le tronc de se mettre en équilibre de température avec l'air ambiant. Il résulte de là que la température de l'intérieur du tronc doit être analogue à celle du sol où leurs racines plongent, c'est-à-dire, plus chaude que l'air en hiver, et plus froide en été. Dans la détermination de la chaleur propre des végétaux, il faut donc nécessairement tenir compte de cette cause productrice de la chaleur. Si l'on remarque, d'un autre côté, que l'évaporation est moindre en hiver par suite de l'absence

(1) Le même auteur a avancé que les tubercules et les racines possèdent en hiver une température supérieure à celle de l'atmosphère.

des feuilles et de la facilité bien plus grande avec laquelle le soleil réchauffe les troncs quand ils ne sont plus ombragés par ces mêmes feuilles, on trouvera là encore une preuve comment il se fait que les effets précédemment décrits ont lieu. Ces effets montrent bien l'influence des causes physiques sur la chaleur des végétaux, mais nullement qu'ils sont la cause unique de la chaleur qui est produite; il s'agit actuellement de trouver la chaleur propre des végétaux.

§ II. *Des procédés d'expérimentation.*

1553. Je vais indiquer d'abord un procédé très-délicat pour résoudre les diverses questions que je viens de poser: ce moyen est précisément l'emploi des appareils thermo-électriques. Je dois déclarer avant tout que la question présente de grandes difficultés. Pour le prouver, je rapporterai les tentatives que j'ai faites à cet égard. J'ai commencé par percer un arbuste avec un foret très-délié, afin d'y introduire une des soudures. L'aiguille introduite ne tarda pas à être altérée, ce qui produisit un courant électro-chimique. Pour remédier à cet inconvénient, les aiguilles furent recouvertes de plusieurs couches de vernis à gomme laque. Quant à l'autre soudure, elle était restée dans l'air où la température était sensiblement constante; mais le rayonnement n'étant pas le même aux deux soudures, puisque l'une était recouverte par le tissu ligneux, et que l'autre était à l'air libre, il en résulta des effets complexes qu'il fallait écarter, sans quoi il n'y avait pas moyen de déterminer la température des végétaux. M. de Mirbel qui était témoin de ces expériences me proposa alors d'opérer au milieu du Jardin des Plantes en plaçant l'appareil dans la cabane d'un jardinier: j'acceptai son offre; en entrant, je vis un arbre en pleine végétation, et à côté une branche nouvellement détachée du même arbre; il me vint aussitôt dans l'idée, pour éviter la différence de rayonnement qui était un obstacle au succès des expériences, de mettre une des soudures dans l'arbre vivant, et l'autre dans la branche détachée du même

arbre, et dont le diamètre était sensiblement le même. Cette expérience, que la théorie indiquait, réussit parfaitement, et nous observâmes, en peu de temps, une différence entre la température de l'arbre vivant et celle de l'arbre mort; différence qui présente des variations en raison des effets de l'évaporation.

N'ayant pu suivre les expériences, comme je l'aurais désiré, je ne m'en occupai plus, et je communiquai ce que j'avais fait à mon confrère M. Dutrochet.

1554. M. Dutrochet, dans les recherches auxquelles il s'est livré, a commencé d'abord par éliminer l'évaporation de la séve qui produit un refroidissement. En général, cette précaution est indispensable; mais dans l'expérience que j'avais faite, elle était inutile, attendu que la branche d'acacia ayant été détachée nouvellement du végétal, devait avoir sensiblement dans son intérieur la même quantité de séve; de sorte que dans les premiers instants de l'expérience les effets accusés par le galvanomètre ne devaient pas être compliqués des effets du refroidissement produit par l'évaporation.

Voici comment M. Dutrochet opère : il prend un grand bocal, fermé avec un bouchon de liége, dans lequel se trouve un peu d'eau. Les deux soudures du circuit thermo-électrique sont placées dans l'intérieur de ce bocal : l'une des soudures se trouve dans une partie végétale tuée, au moyen de l'immersion dans l'eau chaude, puis refroidie; l'autre soudure est introduite dans une partie végétale exactement semblable, mais vivante. Les aiguilles sont enduites de gomme laque pour les préserver de l'oxidation et de l'action des acides ; précaution que j'avais bien recommandée. Au moyen de cette disposition, la partie morte prend la température de l'atmosphère ambiante, tandis que celle qui est vivante doit prendre cette même température, dégagée du froid produit par l'évaporation.

1555. Suivant M. Dutrochet, cette chaleur est de $\frac{1}{4}$ de degré dans son maximum; mais elle n'est le plus souvent que de $\frac{1}{6}$ de degré, ou même de $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{12}$ de degré.

Les expériences ont été faites sur les jeunes tiges des végétaux, lorsque leur moelle est encore verte, dans les fleurs en bouton, dans les feuilles lorsque leur épaisseur est suffisante pour que l'on puisse y placer l'aiguille, telles que les feuilles de la joubarbe. Il a observé, en outre, que cette chaleur disparaît pendant la nuit ou pendant l'obscurité artificielle, et qu'elle reparaît sous l'influence suffisamment continuée de la lumière; la chaleur propre des boutons et des fleurs persiste pendant la nuit. Il a annoncé, enfin, que plus la température extérieure est élevée, plus la chaleur propre des végétaux augmente; il recommande de faire les observations au-dessus de + 15°, et mieux encore au-dessus de 20; et que c'est à l'heure du jour où il y a le plus de chaleur et le plus de lumière, que la chaleur propre des végétaux a le plus d'élévation.

Je dois ajouter encore que M. Dutrochet a constaté l'existence de la chaleur végétale dans les racines, dans les fruits, et même dans les embryons séminaux; les gros cotylédons, quand ils sont verts, se prêtent facilement à cette observation; dans les champignons; dans les fleurs en bouton, celles-ci n'offrent de chaleur que lorsque la soudure est placée dans l'ovaire. Telles sont les principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur la température des plantes.

§ III. *De la chaleur des fleurs.*

1556. MM. Van-Beck et Bergsma ont observé également l'élévation de température des fleurs de colocasia odora au moyen des effets électro-chimiques. Ces deux physiciens ont fait usage des aiguilles dont je m'étais servi pour déterminer la température du sang veineux et celle du sang artériel. Chacune de ces aiguilles, composée d'un fil de platine et d'un autre d'acier soudés ensemble par un de leurs bouts, est terminée en pointe fine; les deux parties ne se touchent nulle part ailleurs, et sont séparées l'une de l'autre par un morceau d'ivoire ou une membrane non conductrice. Les deux bouts libres de cette aiguille ayant

été mis en communication avec le multiplicateur, cette aiguille fut fixée, par son appendice d'ivoire, dans une position horizontale, à côté de la plante; au moyen d'un appareil particulier, on pouvait introduire la pointe soudée de l'aiguille dans telle partie du spadice que l'on voulait, et l'y laisser en place plus ou moins de temps; un thermomètre indiquait la température du milieu ambiant; des écrans convenablement placés garantissaient les appareils de l'action directe du soleil. Voici le résultat des expériences faites par MM. Van-Beck et Bergsma avec cet appareil :

1° Le dégagement de chaleur dans les fleurs de colocasia odora a lieu sur toute la surface visible du spadice, quoique avec une intensité différente dans ces diverses parties;

2° Après l'épanouissement de la spathe, un dégagement considérable de chaleur a lieu dans les fleurs mâles, qui acquièrent une très-haute température, beaucoup plus élevée que celle que l'on observe à cette époque dans les autres parties du spadice.

Vers l'époque de l'émission du pollen, une augmentation considérable de chaleur se manifeste subitement dans les fleurs mâles avortées qui forment le cône charnu ou glanduleux du spadice, tandis que la température des fleurs mâles diminue constamment et approche de plus en plus de celle de l'atmosphère. Le dégagement de chaleur de cette partie constituant une seule période de plusieurs jours, celui des fleurs mâles avortées, au contraire, offre plusieurs périodes distinctes et particulières jusqu'au dépérissement de cette partie.

Le dégagement de chaleur dans chacune de ces diverses périodes est uniforme et le même sur la surface des fleurs mâles comme sur celle des fleurs mâles avortées, contrairement à l'opinion émise par quelques savants, qui affirment que la chaleur va en augmentant vers le sommet du spadice.

LIVRE XVI.

ÉLECTRO-CHIMIE. — ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

CHAPITRE PREMIER.

INFLUENCE DES CORPS DISSOUS SUR LA DÉCOMPOSITION DE L'EAU ; DU RAPPORT DES AFFINITÉS.

1557. On sait que, pour décomposer l'eau distillée au moyen de la pile, il faut employer un grand nombre d'éléments; mais que ce nombre peut être réduit de beaucoup, quand on ajoute à l'eau un acide, un sel ou un corps quelconque, qui augmente sa faculté conductrice. Il suffit même de quelques éléments, quand l'un des principes de l'eau peut se combiner avec quelques-uns des éléments des corps dissous. Jusqu'ici, toutes les tentatives ont été vaines pour décomposer l'eau pure au moyen d'électrodes de platine, en ne se servant que d'un seul élément. Bien qu'il ne se dégage pas de gaz sur les électrodes, l'état de polarisation que ces derniers acquièrent par le passage du courant, semble indiquer cependant qu'il se dépose sur leur surface des globules gazeux d'une ténuité extrême. Mais comme les chimistes n'admettent la décomposition de l'eau que lorsqu'ils peuvent saisir ses éléments, il s'ensuit qu'ils ne reconnaissent pas sa décomposition dans ce cas-ci.

J'ai dit plus haut que lorsque les éléments de l'eau

pouvaient se combiner avec quelques-uns des éléments des corps dissous, il y avait décomposition : il en est de même encore lorsque les électrodes sont formés d'un métal oxidable.

M. Grove est parvenu aussi à décomposer l'eau avec un couple seulement, mais en se servant de l'action de l'oxigène de l'eau sur l'hydrogène renfermé dans un tube où se trouvait l'électrode positif, sans qu'il y ait dégagement de gaz. Dans ce cas, l'oxigène se combine avec l'hydrogène pour reformer de l'eau.

Il résulte de là que, si l'on soumet à l'expérience de l'eau qui renferme de l'oxigène ou de l'hydrogène, ces corps aident à sa décomposition, sans qu'il y ait pour cela dégagement de gaz. De même, si l'eau renferme des corps avides d'oxigène ou d'hydrogène, la décomposition de l'eau doit s'effectuer, comme M. Edmond Becquerel l'a montré, en suivant la marche que je vais indiquer.

Si l'on verse dans un vase de l'eau tenant en dissolution du chlore, et qu'on y plonge deux électrodes en platine, en relation avec un petit couple à la Wollaston, de quatre centimètres carrés, et faiblement chargé, l'eau est immédiatement décomposée; l'oxigène seul se dégage au pôle positif, tandis que l'hydrogène, à l'instant où il se dégage sur l'électrode négatif, se combine avec le chlore pour former de l'acide hydrochlorique. Il y a en outre un peu d'oxigène absorbé, comme nous le verrons plus loin.

Mais, si au lieu d'employer un seul couple, on en prend trois ou quatre, ou un nombre suffisant pour décomposer l'eau acidulée, il se dégage alors un peu d'hydrogène au pôle négatif, comme il est facile de le concevoir : la quantité d'hydrogène est telle dans ce cas qu'elle ne trouve pas, à l'instant où elle est, à l'état naissant, en contact avec la lame de platine, tout le chlore nécessaire pour former de l'acide hydrochlorique; il faut alors un certain temps pour qu'il en arrive des parties éloignées du liquide.

Si l'on dissout, au contraire, dans l'eau, des sels dont les bases peuvent passer à un état d'oxidation supérieur, tel que du sulfate de protoxide de fer, qui tend sans cesse à prendre aux corps oxigénés de l'oxigène pour former un sulfate de peroxide, on décompose encore la solution avec un élément à la Wollaston : dans ce cas, il y a seulement dégagement d'hydrogène.

On voit donc que, lorsque l'eau tient en dissolution différents corps qui ont de l'affinité pour l'oxigène ou l'hydrogène, peu importe lesquels, ces corps aident à la décomposition électro-chimique de l'eau, quand on emploie un seul élément.

Cependant cette règle n'est pas sans exception. Si l'on opère avec des solutions aqueuses de brome et d'iode, on trouve qu'il faut ajouter une certaine quantité de sel marin ou d'acide sulfurique à l'eau qui renferme du brome, pour la décomposer, tandis que la dissolution d'iode, malgré l'addition du sel ou de l'acide, ne donne aucune trace de décomposition.

Le bichlorure de cuivre donne à l'eau la faculté d'être décomposée par un seul couple. Dans ce cas, le bichlorure se change en protochlorure. Le perchlorure de fer n'est point décomposé.

1558. J'ai dit qu'un courant qui traversait une solution aqueuse de chlore laissait dégager de l'oxigène. M. Edmond Becquerel a cherché s'il en était encore de même quand on faisait passer un courant en même temps et dans de l'eau acidulée et dans de l'eau chlorurée, c'est-à-dire, si l'on introduisait dans le circuit un voltaïmètre. Il a pris à cet effet (fig. 14) deux vases, munis chacun de deux électrodes en platine : deux des électrodes communiquaient ensemble, et les deux autres furent mis en communication avec les pôles d'une pile à auges. L'un des vases renfermait une solution aqueuse de chlore, l'autre de l'eau acidulée. En prenant successivement deux, trois couples, etc., d'une pile chargée comme à l'ordinaire, on n'aperçut aucun dégagement de gaz dans les deux vases. Avec quatre couples, l'eau acidulée

et l'eau chlorurée furent décomposées. Dans cette dernière, il n'y eut, comme ci-dessus, qu'un dégagement d'oxigène : il en fut de même avec cinq couples ; mais avec six couples, l'hydrogène commença à se dégager dans l'eau chlorurée.

Voici les résultats d'une expérience avec cinq couples :

TABLEAU A.

	OXIGÈNE.	HYDROGÈNE.
Eau chlorurée.....	.. .... 3 volum.	..... 0 volum.
Eau acidulée.....	. ..... 3,5	 7

Ces résultats donnent le rapport des gaz dégagés dans les deux expériences.

On voit encore que, dans la première expérience, le chlore, outre qu'il a absorbé tout l'hydrogène, a pris encore un demi-volume d'oxigène.

1559. Voyons maintenant comment on peut se servir des résultats précédents, pour avoir des valeurs approchées des rapports de l'affinité du brome, du chlore, de l'iode, pour l'hydrogène et l'oxigène. On prend à cet effet quatre vases disposés comme les deux vases de la fig. 4; les deux électrodes extrêmes sont mis en communication avec les deux pôles d'une pile à la Wollaston, de dix éléments. Les trois premiers vases renferment : le premier, une solution aqueuse de chlore; le second, une solution aqueuse de brome; le troisième, une solution aqueuse d'iode; le quatrième, qui est le voltaïmètre, de l'eau acidulée. La pile est chargée faiblement, afin que les gaz, se dégageant très-lentement sur les lames de platine, aient le temps de réagir à l'état naissant sur les gaz dissous dans l'eau, qui viennent successivement se présenter aux électrodes. Dans une expérience, la pile ayant fonctionné pendant trois heures, il ne s'est

dégagé dans l'eau acidulée qu'environ un centimètre cube de gaz hydrogène et un demi-centimètre cube d'oxigène. La même quantité d'eau correspondant à ces gaz a dû être décomposée dans les trois autres vases. Si donc l'on retranche le volume des gaz dégagés dans les trois premiers vases, du volume de l'hydrogène et de l'oxigène recueillis dans le quatrième, on a la quantité de gaz absorbée.

TABLEAU B.

	GAZ DÉGAGÉ.		GAZ ABSORBÉ.		RAPPORT DES GAZ ABSORBÉS AUX GAZ DÉGAGÉS DANS LE VOLTAÏMÈTRE.	
	oxigène.	hydrogène.	oxigène.	hydrogène.	pour l'oxigène.	pour l'hydrogène.
EAU acidulée....	.. 7,25 vol.	.. 14,5	»	»	»	»
EAU chlorurée...	.. 6,25..	.. 2	1 ...	.. 12,5	0,138.	.. 0,862
EAU bromurée...	.. 4,5 .	.. 4	2,75..	.. 10,5	0,379.	.. 0,724
EAU iodurée.....	.. 4	.. 11	3,25..	.. 3,5	0,448.	.. 0,242

Si l'on fait dégager les gaz rapidement, les rapports entre les quantités absorbées et les quantités dégagées dans le voltaïmètre ne sont plus les mêmes, comme on le voit dans le tableau suivant; dans ce cas, les gaz ne restent pas assez longtemps à l'état naissant pour réagir sur le chlore qui ne se trouve pas en contact immédiat avec la lame de platine.

TABLEAU C.

	DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.	
	Oxigène.	Hydrogène.	Oxigène.	Hydrogène.
EAU acidulée.....	... 7,25	 14,5	»	»
EAU chlorurée.....	... 5,5	 8,25	1,75	 5,25
EAU bromurée.....	... 5,25	 12,5	2	 2
EAU iodurée.....	... 6	 13	1,25	 1,5

1560. M. Edmond Becquerel est parti des résultats précédents, obtenus avec une pile chargée avec de l'eau seulement et fonctionnant pendant trois heures, pour calculer approximativement le rapport de l'affinité de l'hydrogène pour chacun des gaz ci-dessus mentionnés; il a supposé pour cela, que plus un gaz a de pouvoir absorbant, dans un temps donné, plus il a d'affinité pour le gaz qu'il absorbe. Les nombres suivants, qui expriment les rapports de l'absorption au dégagement, peuvent donc représenter avec approximation les rapports des affinités :

	Gaz.	Hydrogène.
	Chlore	862
m	Brome	724
	Iode	242

On a déduit, d'après le même principe, l'affinité de l'oxigène pour chacun de ces gaz,

	Gaz.	Oxygène.
	Chlore	138
n	Brome	379
	Iode	448

Ces valeurs ne peuvent être exactes qu'autant que tout l'oxigène et tout l'hydrogène dégagés ont été absorbés, et qu'il n'y en a pas eu de dissous dans l'eau.

1561. Les expériences précédentes ont été recommencées pour voir jusqu'à quel point on pouvait compter sur l'exactitude des rapports que je viens de donner. On a pris à cet effet une pile à auges, à grands éléments, chargée avec de l'eau pure, et l'on a mis en expérience successivement deux, trois couples, jusqu'à ce que l'eau fût décomposée dans les quatre vases, sans qu'il y ait immédiatement dégagement sensible d'hydrogène au pôle négatif dans le chlore. On a été assuré alors que tout l'hydrogène a été absorbé. Il a fallu employer pour

cela vingt éléments. Après cinq heures d'expérience, on a obtenu les résultats suivants :

	DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.		RAPPORT DES GAZ ABSORBÉS AUX GAZ DÉGAGÉS DANS LE VOLTAÏMÈTRE.	
	Oxigène.	Hydrogène.	Oxigène.	Hydrogène.	Oxigène.	Hydrogène.
EAU acidulée....	.. 27,5..	... 55	»	»	»	»
EAU de chlore...	.. 22 ...	... 1	5,5 ..	.. 54	0,200..	.. 0,982
EAU de brome...	.. 17 ...	... 16,5	10,5 ..	.. 38,5	0,382..	.. 0,700
EAU d'iode.....	.. 14 ...	... 45	13,5 ..	.. 10	0,490..	.. 01 82

Comme précédemment, on a eu, pour les rapports approchés d'absorption, les nombres suivants :

	Chlore.....	982
m'	Brome.....	700
	Iode.....	182

Pour l'oxigène :

	Chlore.....	200
n'	Brome.....	382
	Iode.....	490

Les résultats consignés dans les tableaux m', n', diffèrent des résultats m, n; nous devons en inférer que les quantités de gaz absorbées n'entrent pas toutes en combinaison avec le chlore, le brome ou l'iode. Dès lors une portion reste en dissolution, comme je l'ai dit plus haut. Les rapports cherchés doivent être les moyennes des nombres obtenus dans plusieurs expériences.

D'un autre côté, le chlore, le brome et l'iode se combinent, atome à atome, avec l'hydrogène, sans changer de volume, pour former trois acides hydrogénés; les moyennes dont je viens de parler donnent donc, par ap-

proximation, les rapports des affinités qui lient un atome de chacun de ces trois corps avec un atome d'hydrogène.

Voici ces moyennes :

	Hydrogène.
Chlore	922
Brome	712
Iode	212

Quant à l'oxigène, les nombres trouvés n'expriment que les rapports de son affinité pour le chlore, le brome, l'iode, lorsqu'ils se combinent de manière à former les acides chlorique, bromique, iodique; car ces combinaisons renferment 5 atomes d'oxigène et 2 atomes de radical.

	Oxigène.
Chlore	169
Brome	380
Iode	469

Le procédé à l'aide duquel on est parvenu à évaluer approximativement l'affinité de l'hydrogène pour le chlore, le brome et l'iode, peut être employé avec avantage lorsqu'il s'agit de trouver le rapport entre les affinités de différents corps.

CHAPITRE II.

DE L'EMPLOI DES EFFETS ÉLECTRO-CHIMIQUES POUR ÉTUDIER LES CHANGEMENTS CHIMIQUES OPÉRÉS DANS LES CORPS SOUS L'INFLUENCE DE LA LUMIÈRE.

§ 1er. *Procédé d'expérimentation et recherches préliminaires.*

1562. On n'a étudié jusqu'ici les effets chimiques de la lumière qu'en ayant égard aux changements de couleur qu'éprouvent quelques réactifs très-sensibles, tels que le chlorure d'argent, la résine de gayac, sous l'influence de la radiation solaire; mais ce mode d'expérimentation étant très-borné, on sentait le besoin d'un procédé qui permît de déterminer avec une certaine précision les altérations qu'éprouvent certains composés de la part des radiations, appelées rayons chimiques, qui peuvent exister dans toutes les parties du spectre solaire. M. Edmond Becquerel vient de trouver ce procédé, qui promet à la physique et à la chimie d'importants résultats; il est fondé sur la production des effets électriques produits dans les actions chimiques. Pour bien en comprendre l'usage, je suis obligé d'entrer dans quelques détails indispensables.

Ce procédé exige l'emploi de lames métalliques qui plongent dans différents liquides. Or, les rayonnements lumineux produisent des changements de température dans les corps qui sont soumis à leur influence, ou des effets qui ne sont pas encore connus. Je dois commencer

par exposer tous ces phénomènes; il sera plus facile ensuite, dans les expériences, de faire la part des effets de la radiation calorifique, et celle des effets de la radiation chimique.

1563. J'ai montré que lorsqu'on plonge dans un liquide conducteur deux lames de platine non attaquables par ce liquide, et en relation avec un multiplicateur, il n'y a pas d'effets électriques produits, quand leur surface est très-propre; mais pour peu que l'une d'elles possède une température plus élevée que l'autre, on obtient aussitôt un courant, dont la direction et l'intensité dépendent de la nature du liquide et de celle des lames.

Or, le même phénomène ayant lieu quand on expose inégalement à la radiation solaire deux lames de platine ou d'or, plongeant inégalement dans une solution acide neutre ou alcaline, il est important de reconnaître jusqu'à quel point la radiation calorifique intervient dans la production de ce phénomène. Nous allons voir qu'il y a quelque chose de plus que les effets de cette radiation.

D'un autre côté, on sait qu'une lame chaude d'un métal oxidable est négative par rapport à une lame froide, lorsqu'on plonge l'une et l'autre dans de l'eau ou une solution alcaline, tandis que le contraire a lieu avec une solution acide; et comme les effets sont les mêmes en mettant en contact de l'eau froide avec de l'eau chaude, ou une solution alcaline ou acide froide avec une solution alcaline ou acide chaude, on peut en conclure que l'immersion d'une lame chaude de métal dans un liquide, échauffe la couche liquide qui l'entoure, d'où résulte ensuite un courant électrique par suite de la réaction de la couche chaude sur le liquide environnant. Ce qui vient à l'appui de cette conclusion, c'est que ce courant est de nature électro-chimique, puisqu'il passe dans les longs circuits. Pour observer les effets de la radiation solaire, on prend une boîte en bois, vernissée intérieurement, divisée, au moyen d'une membrane très-mince, en deux compartiments, que l'on remplit de la solu-

tion d'essai. Dans chacun de ces compartiments on plonge une lame de platine, très-propre, chauffée préalablement au rouge pour détruire les corps étrangers adhérant aux surfaces; les deux lames sont mises en relation avec un excellent multiplicateur et l'on recouvre enfin chaque compartiment avec une planchette, afin d'intercepter l'action de la lumière solaire. Quand on veut opérer, on enlève successivement chacune des planchettes.

En opérant avec une solution alcaline, on trouve que la lame exposée à la radiation solaire prend au liquide l'électrité négative; avec une solution acide, elle prend au contraire l'électricité positive.

Dans le premier cas, on obtient une déviation de 2 à 3°; dans le second, une déviation qui va jusqu'à 10°.

Avec l'or, les phénomènes sont semblables. On est porté naturellement, à la première vue, à admettre qu'ils sont dus uniquement au rayonnement calorifique de la lumière solaire qui échauffe une des lames, tandis que l'autre conserve sa température, puisque les effets produits sont de même nature que si l'on échauffait inégalement les deux lames; mais il ne paraît pas en être ainsi, comme le montrent les résultats suivants.

M. Edmond Becquerel a commencé par déterminer l'influence des écrans de verre coloré sur la production du phénomène; il a employé, à cet effet, des verres blancs (*a*), rouge (A), jaune (B), vert (C), bleu (D), violet (*e*).

Voici les résultats obtenus dans une série des expériences :

	LIQUIDE contenu dans les deux compartiments.	ÉCRANS.	INTENSITÉ du COURANT.	SOMME DE RAYONS actifs qui traversent les liquides. Le nombre des rayons incidents = 100.
A	Eau renfermant $\frac{1}{50}$ d'acide nitrique.....	Sans écran.....	..... 4°,5	 100
		Verre blanc.....		
		Violet.....	..... 1 ,5	 33
		Bleu.....	..... 1	 22
		Vert....		
		Jaune..	..... 0	 0
		Rouge..		

Pour bien connaître la véritable cause du phénomène, ce jeune physicien a cherché l'ordre des écrans, relativement aux effets produits sur une pile thermo-électrique par la radiation solaire. A côté des résultats obtenus on a mis ceux que M. Melloni avait trouvés, en prenant pour source de chaleur une lampe d'Argant.

	ÉCRANS.	DÉVIATIONS.	NOMBRE de RAYONS.		RÉSULTATS DE M. MELLONI. ÉCRANS.	NOMBRE de RAYONS.
B	Sans écran.....	.. 13°,16 .	... 100	C	Sans écran.....	... 100
	Verre blanc (a)....	.. 12	... 90		Violet foncé.....	... 53
	Verre jaune clair (B)	.. 11	... 83		Rouge vif.....	... 47
	Verre violet (E)....	. 8,5 ...	... 61		Jaune brillant...	... 34
	Verre rouge (A)...	.. 7	... 53		Bleu foncé.....	... 33
	Verre blanc (D)...	.. 4	... 30		Vert pomme.....	... 21
	Verre vert (C).....	.. 0	... 0			

1564. D'un autre côté, M. Melloni a montré que les rayons calorifiques de réfrangibilité différente sont inégalement absorbés par un écran d'eau d'un millimètre d'épaisseur, et que la perte est en raison inverse de la réfrangibilité; mais comme, dans les expériences précédentes, les rayons solaires, avant de frapper les lames de platine, traversent une couche de liquide, M. Edmond Becquerel a cherché l'ordre des écrans interposés entre la couche du liquide et la pile thermo-électrique. Voici les résultats obtenus avec une couche d'eau acidulée, de deux lignes d'épaisseur :

	ÉCRANS.	DÉVIATION.	NOMBRE DE RAYONS.
C	Sans verre	..... 10°.....	..... 100°
	Verre jaune (B).....	..... 7	 70
	Verre violet (C).....	..... 5	 50
	Verre rouge (A).....	..... 2	 20

Nous voyons encore que cet ordre est totalement différent de celui que l'on a trouvé avant que la radiation solaire ait traversé une couche liquide interposée entre l'écran et le liquide où se trouvent les lames. En effet, le verre jaune laisse passer, dans le cas actuel, 70 rayons calorifiques, tandis qu'il arrête complétement l'action des rayons solaires sur le platine. S'il y a une action, dans ce cas-ci elle est insensible.

1565. Je ne dois pas oublier de dire que les effets dont il est ici question ont également lieu à la lumière diffuse, mais à un degré moindre.

Pour montrer que les rayons calorifiques ne paraissent pas être la cause unique des effets produits, M. Edmond Becquerel a appliqué verticalement une des deux lames de platine, dont la surface avait été chauffée préalablement au rouge, sur une des faces de la boîte de verre, qui avait été noircie, à l'exception de la partie qui se trouvait vis-à-vis de la lame; puis il a projeté successivement sur celle-ci les rayons du spectre solaire, comme on le voit fig. 5. En opérant avec de l'eau acidulée par l'acide nitrique, on a obtenu les résultats suivants :

Aucune action avec les rayons rouges, orangés, jaunes et verts.

Faible action avec les rayons bleus, indigos.

Action marquée dans les rayons violets. Toutes les fois que les lames sont très-propres et qu'elles ont été rougies, les rayons du spectre sont absolument sans effet pour déterminer la production des courants électriques dont nous recherchons la cause.

Cette expérience tend donc à montrer que les rayons qui agissent sur des lames de platine ou d'or, plongées dans de l'eau ordinaire ou de l'eau acidulée, sont plus réfrangibles que les rayons lumineux, et ne sont point par conséquent les rayons calorifiques. On peut se demander maintenant quel est le mode d'action de ces rayons dans la circonstance actuelle. C'est une question à laquelle il est difficile de répondre. Cependant, comme les effets sont presque nuls quand

les surfaces des lames sont très-nettes et parfaitement décapées, il pourrait se faire que les effets produits quand elles ne sont pas dans cet état, fussent dus à l'action des rayons chimiques sur les corpuscules étrangers, d'une ténuité extrême, qui adhèrent aux surfaces.

1566. La nature de ces corpuscules étant inconnue, on est conduit naturellement à rechercher d'abord l'influence que peut exercer sur le phénomène la présence de corps inaltérables, en couches très-minces, tels que le charbon, les oxides, placés sur les lames soumises, comme précédemment, à l'action des différents rayons du spectre. M. Edmond Becquerel a remarqué qu'il y avait dans ce cas une diminution dans l'intensité des effets produits. Ce qu'il y a de particulier, c'est que ces corps ayant un pouvoir absorbant assez grand, auraient dû produire plutôt un accroissement d'effet qu'une diminution, si le phénomène était purement calorique.

On peut se demander encore si les rayons actifs produisent une altération du platine, sous l'influence de corps étrangers, ou bien s'ils déterminent un trouble dans l'état d'équilibre des particules de la surface du métal. Cette question reste encore sans réponse. Je puis ajouter que lorsqu'une lame de platine reste plongée dans l'eau pendant plusieurs jours, le courant produit sous l'influence des rayons solaires est bien moins intense que lorsqu'on vient de la faire rougir.

1567. J'ai dit, il y a un instant, qu'il était probable que le courant produit avec les lames de platine provenait en partie de l'action exercée par la lumière sur les corps étrangers adhérant à leur surface. Pour voir jusqu'à quel point cette supposition était fondée, on a opéré avec des lames de métaux oxidables.

Lames de laiton. Ces lames, ayant été décapées, ont été mises dans l'appareil à compartiments, qui renfermait de l'eau ordinaire, dans laquelle on avait ajouté quelques gouttes d'acide nitrique pour la rendre conductrice. On a obtenu un courant de 4 ou 5 degrés lors de l'exposi-

tion aux rayons solaires; le sens du courant était tel, que la lame exposée à la lumière prenait au liquide l'électricité positive. Une de ces lames cependant a présenté un effet singulier, dont nous verrons plus loin la cause. Dans le premier moment de l'exposition solaire, la lame a pris au liquide l'électricité négative, et immédiatement après le courant a changé de sens. Cette inversion a cessé après l'immersion de la lame dans l'acide nitrique; elle était due à la couche d'oxide adhérente à sa surface.

Dans une des expériences, la déviation étant de 3 à 4 degrés sous l'influence solaire, on a pris une pile de 30 éléments, et l'on s'est servi des deux lames de laiton comme d'électrodes; la lame positive s'est oxidée, tandis que l'autre est restée brillante. On les a remises ensuite à la place qu'elles occupaient d'abord; après quoi on les a soumises successivement à la radiation solaire. La lame brillante s'est comportée comme auparavant, c'est-à-dire, qu'elle a pris au liquide l'électricité positive, mais à un faible degré; tandis que la lame couverte d'oxide est devenue fortement négative, et à un degré tel, que l'aiguille a été chassée violemment à 90°. Cette action énergique n'est produite que lorsque la lame est fortement oxidée.

Ayant interverti l'ordre des lames quand elles servaient d'électrodes, les résultats ont encore été les mêmes.

Il est bien entendu que les lames qui avaient servi d'électrodes, étant polarisées, n'étaient mises en rapport avec le galvanomètre qu'après avoir perdu une grande partie de leur polarité. Dans une expérience où l'on a employé les écrans, comme ci-dessus, on a obtenu les résultats suivants, en exposant la lame oxidée à la radiation solaire:

	Intensité.	Résultats des effets chimiques, ou Somme des rayons actifs.
Sans écran.....	33°,5	100
Verre violet.....	9	27
Verre bleu.....	10 5	31
Verre vert.....	1	2,5
Verre jaune.....	6 5	10,5
Verre rouge.....	1	2,5

Quand la même lame était exposée aux divers rayons du spectre solaire, on a eu :

Spectre.	Intensité.
Rouge	1°
Orangé	»
Jaune	2
Vert	4
Bleu	2
Indigo	»
Violet	0

En opérant avec la lame de laiton décapée et les écrans, on obtenait, comme on l'a dit, un courant en sens inverse, dont l'intensité variait, comme on le voit dans le tableau suivant :

	Intensité.	Somme de rayons actifs.
Sans écran	4° 5	100
Violet	2	44,5
Bleu	1 ,25	27
Jaune d'or	0	0

Tous ces effets d'écran présentent des différences dont on ne connaît pas la cause, mais que je dois signaler pour l'intelligence des faits dont il sera question ci-après.

§ II. *Effets électriques produits dans la réaction du brome sur l'argent, ainsi que dans la décomposition du chlorure, du bromure, de l'iodure d'argent sous l'influence solaire.*

1568. Des lames d'argent, parfaitement décapées, ont été mises dans l'appareil à compartiments, rempli d'eau acidulée par l'acide sulfurique. Exposées successivement à la radiation solaire, elles ont donné un courant de 1 à 2 degrés, dirigé dans un sens tel, que la lame exposée était négative. En opérant avec les mêmes lames qui avaient servi d'électrodes, et exposant à la radiation

solaire la lame positive ou oxidée, le courant n'a pas été plus intense. Cette faible action pouvant être négligée, M. Edmond Becquerel a déposé sur les surfaces de ces lames des couches épaisses et très-minces de vapeur d'iode, pour connaître jusqu'à quel point on pourrait reconnaître les effets électriques résultant de la réaction de ces deux corps sur l'argent, sous l'influence de la lumière solaire.

Avec des couches épaisses on a obtenu un courant assez intense, dirigé dans un sens tel, que la lame exposée au soleil prenait l'électricité négative; résultat qui annonçait l'action de l'iode sur l'argent. Quand la couche était mince, le courant était dirigé dans un sens opposé; ce qui annonçait une action chimique inverse de la première.

Sous l'influence de la lumière directe, le courant était de 45°, et de 10° à la radiation diffuse.

Avec les écrans et les rayons solaires on a eu :

	Intensité.	Rayons.
Sans écran	55°	100
Verre violet	22	40
Verre bleu	14	25,5
Verre jaune	7	12,7
Verre rouge	1	1,8

1569. Avec la vapeur de brome, la lame d'argent, exposée à la lumière solaire, est devenue également négative par rapport au liquide. A la lumière diffuse, les effets étaient tellement marqués, que la déviation était de 50°. Ce résultat annonçait une forte action chimique de la part du brome sur l'argent, sous l'influence solaire. Les lames étant restées exposées à la lumière diffuse pendant dix minutes, puis mises à l'abri de la lumière et exposées de nouveau à son action, la déviation n'a plus été que de 3 à 4°; la réaction chimique était alors presque terminée. Ces résultats montrent bien que l'argent est fortement attaqué par les vapeurs de brome et d'iode sous

l'influence de la lumière. Une couche de chlore substituée à l'iode ou au brome n'a produit qu'un effet presque nul à l'action de la lumière diffuse.

1570. Passons actuellement à la décomposition du chlorure et du bromure d'argent. Lorsque le chlorure d'argent est exposé à la lumière, il perd de son chlore et se change en sous-chlorure. D'un autre côté, ce composé n'étant pas conducteur en masse, et le devenant quand il est en couches très-minces, il s'ensuit que pour observer les effets électriques produits dans ce corps par la radiation solaire, on l'étend, quand il est nouvellement précipité, sur une lame de platine plongée dans l'eau. Dès l'instant que la lame est exposée aux rayons solaires, le chlorure noircit, et l'aiguille du galvanomètre est déviée de plusieurs degrés dans un sens qui annonce que la lame est positive; résultat facile à expliquer : le chlorure d'argent, en se décomposant, prend l'électricité positive, qu'il transmet à la lame métallique avec laquelle il est en contact, tandis que le liquide prend l'électricité négative. On ne peut opérer ici avec une lame d'argent, attendu que sa réaction sur le chlore qui provient de la décomposition du chlorure, produit un courant dirigé en sens inverse de celui que l'on étudie.

Ces faits ne doivent pas être attribués à l'action de la radiation solaire sur le platine, car une lame de platine très-propre, exposée aux seuls rayons solaires, outre qu'elle est négative, ne donne qu'une déviation d'un degré. On voit donc que tout concourt à prouver que le courant est dû à la décomposition du chlorure.

Les lames d'or, avec le chlorure d'argent, se comportent comme celles de platine.

1571. Si l'on veut avoir un courant produit par la décomposition seule du chlorure d'argent, il faut opérer, comme nous l'avons fait plus haut, avec de l'eau distillée: on prend une lame de platine qui a séjourné dans l'eau pendant quelque temps, et on la recouvre d'une feuille de papier non collé, puis on place dessus du chlorure d'argent nouvellement préparé; le courant produit par

la décomposition du chlorure est alors de 3 ou 4 degrés. Cette faible action est due à ce que le chlorure d'argent n'étant pas immédiatement en contact avec le métal, une grande partie des deux électricités dégagées est perdue.

Le meilleur procédé pour appliquer le chlorure sur la lame, est de le déposer dessus quand il est encore humide et de la faire chauffer doucement dans l'obscurité; l'adhérence du chlorure est telle, qu'il ne tombe pas, quelle que soit la position qu'on donne à la lame dans le liquide.

J'ai dit précédemment que la présence de corps étrangers sur la lame de platine suffisait quelquefois pour annuler et même changer le sens du courant; il peut donc arriver que leur action masque en partie les effets produits par la lumière sur le chlorure; mais jamais elle ne les détruit entièrement.

1572. Voyons quelle est l'influence du temps sur la décomposition du chlorure d'argent. Du chlorure, nouvellement précipité, ayant été placé sur une lame de platine, puis exposé aux rayons solaires directs, on a obtenu un courant initial, par première impulsion, de 7°,5. L'expérience, recommencée à diverses reprises, a donné le même résultat, malgré la coloration du chlorure. Celui-ci étant resté pendant deux heures exposé au soleil, on a eu les résultats suivants :

	DÉVIATION par L'IMPULSION.
Le chlorure d'argent étant blanc	7°,5
Au bout d'un quart d'heure d'exposition au soleil, le chlorure étant violet foncé	5 ,5
Au bout d'un quart d'heure encore, presque noir grisâtre	4 ,5
Au bout d'un quart d'heure, noir grisâtre	4
Au bout d'un quart d'heure encore, noir grisâtre	3
Une heure après, noir grisâtre	2

Dans cette expérience, le chlorure n'étant pas adhérent à la lame de platine, le courant n'a pas été très-marqué; on en avait agi ainsi afin de pouvoir, en l'agitant, présenter de nouvelles portions à l'action de la lumière. La déviation est allée alors de 2 à 5°.

Après deux heures d'exposition aux rayons directs, l'action des rayons chimiques se fait donc encore sentir. Le courant primitif étant constant pendant longtemps, on peut donc se servir de son action pour étudier l'influence des verres colorés; en suivant la marche indiquée précédemment, on a trouvé les résultats suivants :

ÉCRANS.	INTENSITÉ DU COURANT par 1re impulsion.	NOMBRE de RAYONS ACTIFS.
Sans écran	7°,5	100
Verre blanc (a)	5	66
Verre violet (E)	4	53
Verre bleu (D)	3	40
Verre vert (C)	0	0
Verre jaune (B)	0	0
Verre rouge (A)	0	0
Sans écran	7°,5	100

Ici l'ordre est à peu près le même que pour les rayons qui agissent sur le platine; mais les nombres présentent quelque différence.

On a placé également la lame recouverte de chlorure d'argent dans les divers rayons colorés du spectre solaire, au moyen de l'appareil précédemment décrit (1565). En faisant réfléchir les rayons solaires avant de les réfracter dans un prisme, on a vu qu'avec de l'eau faiblement acidulée les rayons colorés étaient absolument sans effet quand ils tombaient sur la lame seule de platine; mais dès l'instant que celle-ci était recouverte de chlorure, on n'a pas eu de courant sensible dans le rouge, l'orangé et le jaune seulement, mais des traces de courant

dans le vert, un courant faible dans le bleu et l'indigo, et un courant très-marqué dans le violet et au delà du violet.

Avec de l'eau un peu plus fortement acidulée, on a eu :

COULEURS DU SPECTRE.	INTENSITÉ DU COURANT.
Rouge	0
Orangé	0
Jaune	0
Vert	trace.
Bleu	0,75
Indigo	1°
Violet	3°
Au delà de la limite du violet	3°

Avec la lumière diffuse, on a obtenu un courant très-marqué avec le chlorure d'argent, même dans l'intérieur d'un appartement, toutes les fois que le liquide était bon conducteur; enfin, il y a eu courant toutes les fois que le chlorure changeait de couleur.

1573. Le bromure d'argent, qui se décompose plus vite à la lumière que le chlorure, donne aussi un courant plus intense; ce qui est une nouvelle preuve que l'effet électrique produit est bien dû à l'influence chimique de la lumière.

Pour comparer les effets électriques produits par la radiation lumineuse sur ces deux composés, on a recouvert, avant de les plonger dans l'eau, les deux lames de platine, l'une de bromure d'argent, l'autre de chlorure.

A la lumière diffuse on a eu, sans écran, avec le chlorure 15°, et 26° avec le bromure. Dans les deux cas, la lame exposée était positive par rapport au liquide, comme cela devait être.

Le bromure d'argent, dans les premiers instants, a chassé l'aiguille à 55°, quand on a fait tomber dessus un rayon solaire.

En opérant avec le chlorure d'argent et des écrans co-

lorés, autres que ceux dont on s'était servi (1572), on a eu :

	INTENSITÉ.	RAYONS TRANSMIS.
	°	
Sans écran	23,5	100
Verre blanc (très-blanc)	18,5	78
Autre verre blanc (un peu verdâtre)	17,	72
Verre bleu clair	17,5	74
Autre verre bleu	12,5	53
Verre vert tendre	10,5	44
Verre couleur lie de vin	11,5	48
Verre couleur jaune d'or assez claire	0,5	2,1
Sans écran	23,5	100

Nous avons vu précédemment qu'en opérant avec le chlorure d'argent, la déviation était constante par première impulsion, lorsque la radiation solaire frappait ce composé; mais il n'en a pas été de même avec le bromure : l'action dans les premiers instants a été beaucoup plus intense, et, au bout de peu de temps, tout courant a cessé; cet effet était dû à la prompte décomposition du bromure; ainsi, dans une expérience à la lumière diffuse, l'aiguille fut chassée d'abord à 75°. Ces intensités différentes obtenues dans les diverses expériences provenaient de ce que la couche de bromure ou de chlorure n'avait pas probablement partout la même épaisseur.

L'iodure d'argent, qui ne change pas sensiblement de couleur à la lumière, donne néanmoins dans les mêmes circonstances un courant presque aussi intense que celui du chlorure, mais dont l'intensité n'est pas constante aussi longtemps. Ce courant produit par l'iodure d'argent, en raison de sa direction, annonce que ce composé se change en sous-iodure à l'action de la lumière; il est très-probable que dans la formation des dessins photogéniques, faits par M. Daguerre, il se passe quelque effet de ce genre.

§ III. *Des effets électriques produits dans le contact de deux lames de platine et de deux dissolutions*

différentes, superposées l'une sur l'autre, sous l'influence de la lumière.

1574. Les faits que j'ai exposés dans les deux sections précédentes, indiquent suffisamment combien il y a de précautions à prendre, si l'on veut observer les effets électriques produits dans la réaction de deux dissolutions l'une sur l'autre, à l'aide de deux lames de platine ou d'or, plongeant dans ces dissolutions.

M. Edmond Becquerel, pour arriver à la solution de cette question, a fait une série d'expériences avec l'appareil dont je vais donner la description :

A B (fig. 6) représente un vase cylindrique en verre, de dix centimètres de diamètre et de cinq centimètres de hauteur, dont la surface extérieure est noircie, pour empêcher la lumière de pénétrer dans l'intérieur; deux lames de platine, *a* et *b*, placées horizontalement dans ce vase, l'une au fond, l'autre à quatre centimètres de la base, sont soudées à des fils de platine, passant dans des tubes en verre, hermétiquement fermés, *r*, *s*, *t*, *u*, et qui viennent plonger dans des coupes remplies de mercure, E, F, où viennent aboutir les deux extrémités du fil du multiplicateur.

Pour superposer les deux liquides, sans les mélanger, on verse d'abord dans l'appareil le liquide le moins dense, jusqu'à ce qu'il remplisse environ la moitié du vase; alors, au moyen d'un entonnoir très-effilé, on fait arriver peu à peu au fond du vase le liquide le plus dense, jusqu'à ce que la couche de séparation C D soit placée entre les deux lames de platine. Au moyen de cette disposition, les lames plongent chacune dans l'un des deux liquides.

On place sur l'appareil une planche G H, percée d'une ouverture circulaire I K, sur laquelle on peut mettre des écrans de diverse nature. L'ouverture I K étant la seule par laquelle puisse pénétrer la lumière dans l'appareil, il en résulte que la radiation de la lumière du jour, qui exerce une influence sur la surface de séparation des

deux liquides et sur les lames de platine, pénètre par cette seule ouverture.

Quand on veut intercepter toute action de la radiation dans l'intérieur du vase, on place sur G H une planche N O.

Le multiplicateur dont on se sert doit être à fil long et très-sensible.

Passons maintenant aux expériences :

M. Edmond Becquerel a pris pour liquides, l'alcool ou l'éther, et le perchlorure de fer; voici ses motifs :

On sait que l'éther, dans lequel on a dissous du perchlorure de fer, se décolore à la lumière; mais si on laisse l'action continuer pendant quelque temps, il se dépose des cristaux jaunâtres qui n'ont pas encore été examinés.

Une dissolution de perchlorure de fer dans l'alcool sous l'influence de la lumière se décolore également au bout de plusieurs jours, et laisse précipiter de l'oxide de fer; si l'on examine ensuite le liquide, on trouve que le perchlorure de fer est passé à l'état de protochlorure; une portion du chlore du chlorure a donc réagi sur l'hydrogène de l'alcool, sous l'influence des rayons chimiques.

Ce jeune physicien a commencé par s'assurer qu'en mettant successivement dans l'appareil chacun des deux liquides, les effets électriques étaient moins forts que lorsque ces mêmes liquides étaient superposés l'un sur l'autre; il a donc dû en conclure que leur réaction devait exercer une influence sur le courant.

1575. Voici les résultats obtenus dans quelques expériences faites avec le perchlorure de fer et l'alcool.

Les déviations de l'aiguille aimantée ont été prises par première impulsion; et comme elles ne dépassent pas 20°, on peut regarder les intensités du courant comme sensiblement proportionnelles aux déviations.

Perchlorure de fer. Alcool. + —	ÉCRANS.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à l'obscurité.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à la lumière.	Intensité du courant.
1re *Expérience.*				
Le ciel était serein et la lumière du jour pénétrait seule dans l'appareil.....	Sans écran..	.... 6° ...	... 9° 5 ..	.. 3° 5
		.... 6 ...	... 9 5 ..	
	Verre blanc.	.... 6 ...	... 7 5 ..	.. 1 7
		.... 6 ...	... 8 » ..	
2e *Expérience.*				
Ciel serein.....	Sans écran..	.... 2°....	... 6° 5 ..	.. 4° 5
		.... 2 ...	... 6 5 ..	
	Verre blanc.	.... 2 ...	... 5 » ..	.. 3 »
		.... 2 ...	... 5 » ..	
3e *Expérience.*				
L'appareil étant exposé aux rayons directs du soleil.....	Sans écran..	.... 0 ...	.. 10° » ..	. 10e 0
		.... 0 ...	.. 10 » ..	
	Verre blanc.	.... 0 ...	.. 6 » ..	. 6 »
		.... 0 ...	.. 6 » ..	

On a observé qu'en général moins les liquides sont mélangés, plus le courant électrique est intense, et que tous les chlorures qui peuvent passer à un état de chloruration moindre, exercent une action sur l'alcool, sous l'influence de la lumière, tandis qu'on n'a pu avoir de courant sensible avec les protochlorures.

Le bichlorure de cuivre relativement à l'alcool sous l'influence des rayons chimiques, se comporte comme le perchlorure de fer.

Bichlorure de cuivre. Alcool. + —	ÉCRANS.	DÉVIATION de l'aiguille, l'appareil étant à l'obscurité.	DÉVIATION de l'aiguille, l'appareil étant à la lumière.	Intensité du courant produit sous l'influence de la radiation chimique.
Ciel couvert.....	Sans écran..	.... 6°	... 8° 5 ...	2° »
	Verre blanc.	.... 6°	... 7° 5 ...	1° 5
		.... 6°	... 7° 5 ...	

Le perchlorure de fer agit aussi sur l'esprit de bois, sous l'influence des rayons chimiques, mais faiblement.

PERCHL. DE FER. ESPRIT DE BOIS. + −	ÉCRANS.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant		Intensité du courant produit sous l'influence de la lumière.
		à l'obscurité.	à la lumière.	
L'appareil étant exposé aux rayons directs du soleil.....	Sans écran..	.... 1°	... 2° » ...	1° »
	Verre blanc.	.... 1°	... 1° 5 ...	0° 5

Avec l'éther et le perchlorure de fer, on a aussi un courant de 1 à 2° sous l'influence de la lumière diffuse; le perchlorure de fer prend l'électricité positive et l'éther l'électricité négative.

Quand on met dans l'appareil de l'alcool et du chlore, ou du brome dissous dans l'eau, le courant initial dû à la réaction des deux liquides est assez intense pour chasser l'aiguille du galvanomètre à 80°, et même au delà; alors, pour faire dévier l'aiguille de 1° ou la porter de 80 à 81°, il faut une force beaucoup plus considérable que celle qui est nécessaire pour porter l'aiguille de 0 à 1°, ce qui empêche que les effets des rayons chimiques puissent être observés.

Passons actuellement aux effets produits sous l'influence des écrans.

M. Ed. Becquerel, en étudiant la production des courants dans les cas actuels, a eu particulièrement en vue de comparer les quantités de rayons chimiques actifs qui traversent certains écrans, et que l'on peut considérer comme les résultantes des effets chimiques produits; mais comme les rayons les plus réfrangibles sont aussi ceux qui agissent sur les lames de platine, il s'ensuit que les nombres donnés représentent approximativement les rapports des rayons chimiques actifs.

Perchlorure de fer. Alcool. + −	ÉCRANS.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à l'obscurité.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à la lumière.	Courant dû à la réaction sous l'influence des rayons chimiques.
L'appareil étant exposé aux rayons directs du soleil (le 23 juillet 1839, entre 11 et 12 heures)	Sans écran	... 1° 5 ..	... 8° » ..	6° 6
		... 1° 5 ..	... 8° » ..	
		... 1° » ..	... 7° 5 ..	
		... 1° » ..	... 8° » ..	
	Lame de mica (*m*).	... 2° » ..	... 7° » ..	5° »
	Lame de mica (*n*).	... 2° » ..	... 4° » ..	2° »
		... 2° » ..	... 4° » ..	
	Lame de mica (*m*).	... 1° 5 ..	... 6° 5 ..	5° »
		... 1° 5 ..	... 6° 5 ..	
	Lame de mica (*n*).	... 2° » ..	... 4° » ..	2° »

On voit que par l'interposition de la plaque (*m*), le courant est plus de deux fois plus intense que celui produit par l'interposition de la plaque (*n*).

On a employé ensuite, comme écrans, quatre plaques en verre.

La plaque en verre n° 1 avait une épaisseur de 1,^{mm}1.

n° 2 ..... de 1, 2.

n° 3 ..... de 2, 9.

Enfin une plaque en verre ..... de 20, 5.

On a fait sur les trois premières plaques différentes expériences, dont voici les résultats :

Perchlorure de fer. Alcool. + −	ÉCRANS.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à l'obscurité	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à la lumière.	Intensité du courant sous l'influence des rayons actifs.
Ciel serein	Sans écran	.... 2° ...	... 6° 5 ..	4° 5
		.... 2° ...	... 6° 5 ..	
	Verre blanc, n° 1.	.... 2° ...	... 5° » ..	3° »
		.... 2° ...	... 5° » ..	
	Verre blanc, n° 2.	.... 2° ...	... 5° » ..	3° »
		.... 2° ...	... 5° » ..	
	Verre blanc, n° 3.	.... 2° ...	... 5° » ..	3° »
		.... 2° ...	... 5° » ..	
	Sans écran	.... 2° ...	... 6° 5 ..	4° 5
		.... 2° ...	... 6° 5 ..	

Ces trois verres laissent donc passer également la radiation.

En employant la lame dont l'épaisseur est de 20,^{mm}5, on a trouvé qu'elle n'arrêtait pas plus les rayons chimiques que la plaque de verre dont l'épaisseur était de 1,^{mm}2.

Ces résultats nous montrent que la radiation qui agit ici, comme la radiation calorifique, après avoir traversé un écran d'une certaine épaisseur, différente probablement pour chaque substance, n'éprouve plus d'altération, quelle que soit l'épaisseur de l'écran.

M. Biot avait trouvé la même loi pour la coloration à la lumière du chlorure d'argent.

1576. Wollaston, Ritter et Beckmann d'abord, puis ensuite M. Bérard et d'autres physiciens avaient remarqué que les rayons qui opéraient les réactions chimiques, différents des rayons lumineux et calorifiques, étaient plus réfrangibles que ceux-ci, et avaient par conséquent leur maximum d'intensité dans les rayons violets, et même au delà du violet du spectre. M. Edmond Becquerel, pour reconnaître de quelle manière les couleurs modifiaient le courant électrique produit dans l'appareil précédemment indiqué, a employé à cet effet des verres colorés qui, analysés au prisme, ont donné pour la composition de leur couleur les résultats suivants :

VERRES EMPLOYÉS.		RAYONS colorés qui traversent les verres.
Verre rouge.....	A.....	rouge pur.
Verre jaune clair..	B.....	rouge, orangé, jaune, vert.
Verre vert.....	C.....	vert, faibles bandes { orangées. jaunes. bleues.
Verre bleu....	D...	rouge, vert-bleu, faibles bandes { indigo. violettes.
Verre violet...	E.....	rouge-violet, faibles bandes { orangées. jaunes. vertes.
Verre blanc...	a.....	»

En employant ces verres comme écrans, désignant par 100 la résultante des effets chimiques produits par les

rayons incidents qui pénètrent dans la masse liquide, sans l'interposition d'aucun écran, et considérant la résultante des rayons actifs qui traversent les écrans comme proportionnelle à l'intensité du courant, on a obtenu :

Perchlorure de fer. Alcool. + −	Écrans.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à l'obscurité.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à la lumière.	Intensité du courant.	Résultante des effets chimiques produits par les rayons qui traversent les écrans.
Ciel nuageux.	Sans écran	4° » ..	6° ..	2° » .	100
		4 » ..	6 ..		
	Verre blanc a.	4 » ..	5 ..	1 » .	50
		4 » ..	5 ..		
	Verre rouge A.	3 5 ..	3 5 ..	0 » .	0
		3 5 ..	4 ..		
	Verre violet E.	3 » ..	4 ..	0 8 .	40
		3 » ..	3 8 ..		

Perchlorure de fer. Alcool. + −	Écrans.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à l'obscurité.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à la lumière.	Intensité du courant.	Nombre des rayons actifs traversant les écrans.
Ciel couvert.	Sans écran	1° » ..	3° ..	2° » .	100
		0 5 ..	2 5 ..		
	Verre blanc a.	0 5 ..	1 8 ..	1 3 .	65
		0 5 ..	1 8 ..		
	Verre rouge A.	0 5 ..	0 5 ..	0 » .	0
	Verre jaune B.	0 » ..	0 0 ..	0 » .	0
	Verre vert G.	0 » ..	très-légère déviation.	» » .	insensible.
	Verre bleu D.	0 » ..	0 5 ..	0 5 .	25
		0 » ..	0 5 ..		
	Verre violet D.	0 » ..	0 8 ..	0 8 .	40
		0 » ..	0 8 ..		

Perchlorure de fer. +	Alcool. −	Écrans.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à l'obscurité.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à la lumière.	Intensité du courant.	Résultante des effets chimiques produits par les rayons actifs traversant les écrans.
Ciel serein		Sans écran	2° »	6° 5	4° 5	100
			2 »	6 5		
		Verre blanc a	2 »	5 »	3 »	66 6
			2 »	5 »		
		Verre violet E	2 »	4 »	2 »	44 4
			2 »	4 »		
		Verre bleu D	2 »	3 2	1 2	26 6
			2 »	3 2		
		Verre vert C	2 »	2 »	insens.	insensible.
		Verre jaune B	2 »	2 »	0 »	0
		Verre rouge A	2 »	2 »	0 »	0
		Sans écran	2 »	6 5	4 5	100
			2 »	6 5		

Si l'on prend la moyenne des résultats obtenus dans les trois tableaux, avec le même écran, on peut former le tableau suivant, dans lequel les verres colorés sont rangés dans l'ordre où ils laissent passer la radiation chimique :

Écrans.	Nombre de rayons actifs qui les traversent, 100 représentant le nombre de rayons incidents.	
Sans écran	100	»
Verre blanc (a)	60	5
Verre violet (E)	41	4
Verre bleu (D)	25	8
Verre vert (C)	Insensible.	
Verre jaune (B)	0	»
Verre rouge (A)	0	»

Voyons les effets produits par des écrans de nature différente, dont l'épaisseur dépasse un millimètre; voici les écrans employés :

Verre blanc (a) dont l'épaisseur est de	1mm	1
Cristal de roche enfumé n° 1	6	
Id. n° 2	20	5
Plaque de chaux sulfatée; cette plaque est striée et seulement translucide	9	
Mica (m)	0	07
Mica (n)	0	52
Papier mince de gélatine	»	

L'épaisseur a été mesurée au moyen du sphéromètre.

Ces différents écrans ont donné les résultats suivants:

Perchlorure de fer. Alcool. + —	ÉCRANS.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant		Intensité du courant produit sous l'influence des rayons chimiques.	Résultante des effets chimiques produits par les rayons actifs qui traversent l'écran.
		à l'obscurité.	à la lumière.		
L'appareil étant exposé aux rayons solaires directs.....	Sans écran.....	... 2° » ..	... 8° 5 ..	6° 5 .	... 100
		... 2 » ..	... 8 5 ..		
	Mica (m)	... 2 » ..	... 7 » ..	5 » .	... 76 9
		... 2 » ..	... 7 » ..		
	Mica (n)	... 2 » ..	... 4 » ..	2 » .	... 30 7
		... 2 » ..	... 4 » ..		
	Verre blanc (a).	... 1 5 ..	... 6 » ..	4 5 .	... 69 2
		... 1 5 ..	... 6 » ..		
	Chaux sulfatée..	... 1 2 ..	... 5 » ..	3 8 .	... 58 5
		... 1 2 ..	... 5 » ..		
	Sans écran.....	... 1 » ..	... 7 5 ..	6 5 .	... 100
		... 1 » ..	... 7 5 ..		

Perchlorure de fer. Alcool. + —	ÉCRANS	DÉVIATION de l'aiguille aimantée, l'appareil étant		Intensité du courant produit sous l'influence des rayons chimiques.	Résultante des effets chimiques produits par les rayons actifs qui traversent l'écran.
		à l'obscurité.	à la lumière.		
1re *Expérience*.....	Sans écran.....	... 6° » ..	... 9° 5 ..	3° 5 .	.. 100
		... 6 » ..	... 9 5 ..		
	Verre blanc (a).	... 6 » ..	... 7 5 ..	1 7 .	... 48 6
		... 6 » ..	... 8 » ..		
	Cristal de roche n° I.....	... 6 » ..	... 9 » ..	3 » .	... 85 7
		... 6 » ..	... 9 » ..		
2e *Expérience*.....	Sans écran.....	... 4° » ..	... 6° » ..	2° » .	... 100
		... 4 » ..	... 6 » ..		
	Verre blanc (a).	... 4 » ..	... 5 » ..	1 » .	.. 50
		... 4 » ..	... 5 » ..		
	Cristal de roche n° I..	... 3 » ..	... 4 5 ..	1 5 .	... 75
		... 3 » ..	... 4 5 ..		
3e *Expérience*.....	Sans écran	... 2° » ..	... 6° 5 ..	4° 5 .	... 100
		... 2 » ..	... 6 5 ..		
	Verre blanc (a).	... 2 » ..	... 5 » ..	3 » .	... 66 6
		... 2 » ..	... 5 » ..		
	Cristal de roche n° I.....	... 2 » ..	... 5 5 ..	3 5 .	... 77 7
		... 2 » ..	... 5 5 ..		

Avec un écran de papier mince de gélatine on a eu :

Perchlorure de fer. +	Alcool. −	Écrans.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à l'obscurité.	Déviation de l'aiguille aimantée, l'appareil étant à la lumière.	Intensité du courant produit sous l'influence des rayons chimiques.	Résultante des effets chimiques produits par les rayons actifs qui traversent les écrans.
L'appareil étant exposé aux rayons solaires.....		Sans écran.....	... 1° 5 ..	... 5° 8 ..	4° 7 .	... 100
			... 1 2 ..	... 6 » ..		
			... 1 » ..	... 6 » ..		
		Avec un écran de gélatine.	... 1 5 ..	... 3 5 ..	2 » .	... 42 5
			... 1 2 ..	... 3 2 ..		
			... 1 » ..	... 3 » ..		

Si on prend, comme ci-dessus, les moyennes des résultats obtenus, on trouve :

Désignation des écrans.	Nombre des rayons actifs qui traversent les écrans, en représentant par 100 le nombre des rayons actifs incidents.
Verre blanc (a).....	58 6
Cristal de roche enfumé n° (1).....	79 4
Plaque de chaux sulfatée translucide.....	58 5
Mica (m) épaisseur... 0^{mm} 07.....	76 9
Mica (n) *Id.* 0 52.....	37 »
Papier de gélatine.....	42 5

Ces résultats, quoique très-intéressants, rapprochés de ceux que j'ai rapportés dans les deux sections précédentes, nous montrent que les effets électriques produits dans la réaction de l'alcool sur le perchlorure de fer, ou de deux dissolutions l'une sur l'autre, se compliquent d'autres effets également électro-chimiques résultant de la réaction de la lumière sur les lames de platine et les liquides environnants; réaction dont la nature qui ne paraît pas être calorifique, ne nous est pas connue. M. Edmond Becquerel, qui s'occupe avec

persévérance de cette nouvelle classe de phénomènes, finira par trouver le lien qui les unit tous.

§ IV. *De la radiation atmosphérique.*

1577. Les piles thermo-électriques, qui ont déjà rendu de si grands services à la physique, surtout dans l'étude des phénomènes relatifs aux radiations calorifiques, peuvent être employées avec le plus grand succès pour découvrir une foule d'autres propriétés qui ont rapport à cette radiation; je vais en donner un nouvel exemple.

Wollaston a trouvé qu'en tournant l'ouverture d'un miroir parabolique vers l'atmosphère, au milieu d'une plaine, et plaçant un thermomètre au foyer du miroir, ce thermomètre descendait de plusieurs degrés lorsque le ciel était serein.

MM. Melloni et Nobili ont également observé qu'en tournant le réflecteur de la pile thermo-électrique vers un ciel serein, il y avait abaissement de température, mais que le passage d'un nuage produisait aussitôt une élévation.

M. Edmond Becquerel a cherché ce qui devait se passer quand on interposait entre le ciel et la pile un écran en verre, ou toute autre substance diathermane. A cet effet, il a posé sur le réflecteur tourné vers le ciel, une lame de verre, puis sur celle-ci une feuille de carton. En enlevant cette dernière, le multiplicateur indiqua une élévation de température, tandis qu'en retirant le verre, il y avait abaissement.

En général, les écrans, loin de produire un abaissement de température, produisent toujours une élévation par un ciel serein, pourvu que l'expérience soit faite en plein jour

En opérant avec un verre blanc ou une plaque de cristal de roche, on a obtenu :

Avec verre blanc..... de 0, à + 5° ..... (échauffement).
Sans écran..... de 0, à — 55 ..... (refroidissement).

Dans une autre expérience un léger nuage se trouvait au zénith:

		déviation.	
Cristal de roche enfumé, plaque épaisse	.....	de 0, à + 8°	..... (échauffement).
Sans écran	.....	de 0, à − 25	..... (refroidissement).

L'échauffement est ici un effet remarquable, attendu qu'on ne peut l'attribuer au rayonnement de l'écran, vu que ce rayonnement, s'il existait, devrait encore avoir lieu quand l'écran est recouvert d'une feuille de carton. Je me borne à signaler le fait sans chercher à l'interpréter.

CHAPITRE III.

DES VARIATIONS DU POUVOIR D'UNE BATTERIE VOLTAÏQUE FAIBLEMENT CHARGÉE, EN RAISON DES CHANGEMENTS DE TEMPÉRATURE DE L'ATMOSPHÈRE.

1578. Depuis l'emploi qu'on a fait de l'électricité à petite et à grande tension, pour former des composés analogues à ceux qu'on trouve dans les filons, on a cherché tous les moyens possibles de perfectionner les appareils construits à cet effet, afin de les faire fonctionner d'une manière constante pendant le plus de temps possible. On doit donc accueillir favorablement les recherches qui ont été faites par M. Andrew Cross, dans le but d'étudier les variations du pouvoir d'une batterie voltaïque faiblement chargée, correspondantes à l'accroissement ou à la diminution de température de l'atmosphère. L'appareil dont il fait usage ordinairement pour obtenir divers composés cristallisés, se compose d'un vase de terre poreux, rempli d'une solution, et d'un récipient contenant une autre solution, dans laquelle plonge le vase. Les deux solutions réagissent l'une sur l'autre par l'intermédiaire de la terre, et produisent une double décomposition dans le cas où les substances en solution en sont susceptibles. Si l'on fait passer maintenant dans les deux liquides un courant électrique, au moyen de deux lames métalliques plongeant dans chaque liquide, il se forme encore des doubles décompositions par suite de la réaction des éléments transportés aux pôles sur les parties constituantes des solutions.

La pile dont s'est servi M. Cross, dans les expériences dont il va être question, se compose de douze couples recourbés, formés chacun d'une lame de zinc et d'une lame de cuivre de deux pouces carrés. Le bout zinc plonge dans un vase de verre rempli d'eau ordinaire, et le bout cuivre dans un vase poreux placé au milieu du vase de verre, et contenant une solution de sulfate de cuivre. Un voltaïmètre, divisé en parties égales de volume et contenant de l'eau, a été mis en rapport avec les pôles de la batterie, et le gaz enlevé et mesuré toutes les vingt-quatre heures. Un thermomètre suspendu au-dessus de la batterie, la boule plongeant dans l'eau de l'un des bassins, servait à indiquer les variations de température. Les observations ayant été continuées pendant près d'un mois, sans renouveler l'eau ni la solution du sulfate, il en est résulté que la plus grande partie du liquide était évaporée à la fin de l'expérience.

Voici le résultat obtenu :

JOUR de la semaine.	DATE.	DEGRÉS de gaz.	Thermomètre centig.	JOUR de la semaine.	DATE.	DEGRÉS de gaz.	Thermomètre centig.
	1837				1838		
Samedi....	Déc. 23.	.. 42 ..	.. 10°	Vendredi..	Janv. 5.	.. 52 ..	.. 6,67
Dimanche..	24.	.. 64 ..	.. 10	Samedi....	6.	.. 51 ..	.. 5,83
Lundi.....	25.	.. 69 ..	.. 10	Dimanche..	7.	.. 45 ..	.. 3,89
Mardi.....	26.	.. 67 1/2	.. 10	Lundi. ...	8.	.. 43 ..	.. 2,78
Mercredi...	27.	.. 65 1/2	.. 10	Mardi.....	9.	.. 41 ..	.. 1,11
Jeudi.....	28.	.. 64 ..	.. 10	Mercredi..	10.	.. 44 1/2	.. 1,67
Vendredi..	29.	.. 62 ..	.. 10,56	Jeudi.....	11.	.. 44 ..	.. 1,11
Samedi....	30.	.. 61 ..	.. 10,28	Vendredi ..	12.	.. 42 ..	.. 2,22
Dimanche..	31.	.. 57 1/2	.. 8,33	Samedi....	13.	.. 43 ..	.. 0,00
	1838			Dimanche..	14.	.. 52 ..	.. 0,28
				Lundi.....	15.	.. 43 ..	.. 0,56
Lundi.....	Janv. 1	.. 56 ..	.. 8,64	Mardi.....	16.	.. 41 ..	.. 0,56
Mardi.....	2.	.. 55 1/2	.. 7,78	Mercredi..	17.	.. 47 ..	.. 1,11
Mercredi...	3.	.. 54 ..	.. 6,67	Jeudi.....	18.	.. 46 ..	.. 0,56
Jeudi.....	4.	.. 52 ..	.. 5,56	Vendredi..	19.	.. 42 ..	.. 0

GAZ OBTENU.		TEMPÉRATURE.	
1re semaine.....	434°	1re semaine, un peu au-dessus de	50°
2e.....	388	2e..... pas tout à fait ...	46
3e.....	310 1/2	3e..... id. id. ...	37
4e.....	306	4e..... id. id. ...	32

Le premier jour il s'est dégagé un petit filet de gaz ; dans le cours de quelques heures, le dégagement a augmenté; la batterie n'est arrivée à son maximum de pouvoir que le troisième jour.

En jetant les yeux sur les résultats précédents, on voit que la quantité de gaz produite a toujours été en diminuant, ce qui annonçait un affaiblissement général. Cet effet était facile à concevoir en raison de la production des courants secondaires résultant de la polarisation des lames métalliques. Cependant, il paraîtrait qu'en général, le pouvoir augmentait ou diminuait avec l'accroissement ou la diminution de température du milieu ambiant : par exemple, dans la première semaine, la diminution du gaz était de 1° à 2° par jour, tant que le thermomètre était à 10°. Mais un jour, le thermomètre étant tombé de 10°, 28′ à 8°, 33′, la quantité de gaz obtenue a diminué de 61° à 57°5. Entre le 6 et 7 janvier, la température étant tombée de 5°83 à 3°89, on a eu une diminution de gaz de 51° à 45°.

Le 13 janvier, le thermomètre étant à 1°11, il y avait eu 47 volumes de gaz produits, tandis que le jour précédent, où le thermomètre était à 0,56, on n'en avait eu que 41.

En outre, on peut voir qu'un accroissement considérable de la batterie peut avoir lieu avec une diminution de température. Par exemple, le 29 janvier, le thermomètre étant à 0° et les cellules renfermant de la glace, les quantités de gaz étaient exactement les mêmes que le premier jour où le thermomètre était à 10°. On peut remarquer encore que la quantité totale de gaz obtenue la quatrième semaine différait de 4°5 de celle qu'on avait eue la troisième semaine, malgré la diminution naturelle du pouvoir dans la batterie, la perte par l'évaporation des liquides, et une diminution de 5° de la température.

Les observations précédentes qui ne conduisent cependant à aucune loi ont engagé M. Cross à étudier plus directement les effets d'une forte chaleur sur l'action décomposante des courants électriques.

L'appareil a été plongé dans un bain de sable qu'on chauffait nuit et jour sans interruption, jusqu'à la température de l'ébullition; les solutions étaient constamment remplacées par d'autres au fur et à mesure de l'évaporation : on a obtenu les résultats suivants :

Un morceau de sulfure de cuivre jaune, exposé à l'action du courant au pôle négatif, dans une solution froide de sulfate de cuivre, a augmenté de poids.

Un morceau semblable, exposé dans une solution chaude au même courant, a acquis dans le même temps un accroissement de poids trente fois plus considérable. Cet accroissement était dû à un précipité de cuivre métallique et à du protoxide de cuivre. Quoique la température fût à peu près celle de l'ébullition, les cristaux avaient une forme très-régulière.

En employant une seule paire de plaques plongée dans des solutions bouillantes, l'accroissement de poids s'est élevé à 60 grains par jour. On voit que la quantité de cuivre produite était assez considérable pour des plaques qui n'avaient environ que 2 pouces carrés.

De grandes plaques de zinc ayant été recouvertes de plâtre sans être mises en rapport avec des plaques de cuivre, furent placées horizontalement dans de grands vases remplis d'une solution de sulfate de cuivre à la température de l'eau bouillante. En ajoutant une nouvelle solution au fur et à mesure de l'évaporation, il s'est formé en moins de dix jours une masse de quelques onces de cristaux octaédriques de cuivre et d'oxide rouge de même métal.

Les mêmes effets ont eu lieu à de basses températures, mais à un moindre degré. On a obtenu ainsi du cuivre cristallisé, de l'argent et du plomb, sur une plaque de zinc.

CHAPITRE IV.

DE LA FORMATION DE QUELQUES COMPOSÉS A L'AIDE DE PILES D'UNE CONSTRUCTION PARTICULIÈRE.

1579. J'ai déjà fait connaître plusieurs procédés électro-chimiques, à l'aide desquels on obtient, cristallisés, les sulfures de cuivre, d'argent, de fer, de plomb, ainsi que d'autres composés; mais mon attention a été portée de nouveau sur cette question, en examinant plusieurs pièces d'argent qui avaient été changées entièrement en sulfure, par suite de leur séjour prolongé dans une fosse d'aisances. La surface de ces pièces est recouverte de petits cristaux octaèdres, et leur texture est cristalline. La transformation de l'argent métallique en sulfure a dû s'effectuer nécessairement par cémentation, puisque les pièces n'ont pas perdu leurs formes.

1580. Voulant imiter cette transformation au moyen d'actions électro-chimiques très-lentes, je fus obligé de changer les procédés dont j'avais fait usage jusqu'ici, attendu qu'ils ne pouvaient me conduire à la solution de la question. Celui que je leur ai substitué m'a donné des résultats importants pour la chimie en général, et l'électro-chimie en particulier.

L'appareil dont je me suis servi (fig. 7) se compose d'un certain nombre de tubes recourbés en U, de douze ou quinze centimètres de haut et d'un centimètre de diamètre. Chaque tube est disposé de la manière suivante : on met au fond du tube, comme à l'ordinaire, de l'argile humectée d'eau, de manière à occuper une étendue de six à sept centimètres, et l'on place sur l'argile, dans

chaque branche, un tampon de coton, afin d'empêcher que les produits formés ne se mêlent avec l'argile. Dans une des branches, on verse une solution de protosulfure de potassium, dans l'autre une dissolution assez concentrée de nitrate de cuivre. Dans la première, on plonge une lame d'argent, dans l'autre une lame de cuivre. Six tubes sont disposés de la même manière; puis l'on prend une planche de quinze millimètres d'épaisseur, d'une largeur et d'une longueur convenables, et l'on pratique dans son épaisseur des entailles pour y fixer, avec du mastic, la partie recourbée de chaque tube; ces tubes sont disposés de manière que la branche qui renferme du nitrate de cuivre soit placée vis-à-vis de celle qui renferme du protosulfure de potassium. Ces dispositions faites, on réunit un certain nombre d'éléments ensemble pour en faire une pile. Il suffit pour cela de faire communiquer le cuivre du premier tube avec l'argent du second, et le cuivre du second avec l'argent du troisième, et ainsi de suite jusqu'au dernier; alors, pour fermer le circuit, on met en relation le cuivre du dernier avec l'argent du premier. Voilà une véritable pile à laquelle je donne le nom de pile électro-chimique, parce qu'elle fonctionne comme pile, tout en opérant des réactions chimiques dans l'intérieur des tubes. On conçoit qu'on peut ainsi former des appareils d'une grande énergie et dont les effets sont sensibles au bout de très-peu de temps, quand l'argile qui est du côté du sulfure est humectée avec une solution de nitrate. Au moyen de cette disposition, les deux dissolutions réagissent immédiatement l'une sur l'autre.

Cinq ou six heures après que l'un des appareils eut commencé à fonctionner, on aperçut des cristaux de cuivre métallique sur les lames de cuivre, signe caractéristique de l'existence des actions électro-chimiques. Douze heures après, les lames d'argent étaient recouvertes de cristaux qui, essayés, ont été trouvés composés d'argent et de soufre. L'action a continué sans interruption pendant plus de quinze jours; après quoi, les lames, sans

avoir perdu leur forme, ont été transformées en sulfures dont l'aspect était le même que celui des pièces d'argent qui avaient séjourné pendant un certain nombre d'années dans une fosse d'aisances. On obtient les mêmes résultats avec un élément, mais il faut plus de temps. Rien n'est plus simple que d'expliquer les effets produits : l'argent, dans chaque tube, étant attaqué par le sulfure, prend l'électricité négative qu'il transmet au cuivre ; d'un autre côté, le sulfure de potassium, dans sa réaction sur le nitrate, s'empare de l'électricité négative qu'il transmet à l'argent, et par suite au cuivre. Il résulte de là que ce dernier est doublement négatif, comme l'argent est lui-même doublement positif. Pareil effet ayant lieu dans chaque tube, il s'ensuit que lorsque ces tubes sont réunis en pile, l'action doit être énergique.

1581. Analysons maintenant les effets produits : le nitrate de cuivre est décomposé par la lame de même métal qui est négative; l'oxigène et l'acide nitrique sont transportés sur l'argent dans le protosulfure de potassium; l'oxigène oxide le potassium, et l'acide nitrique se combine avec la potasse formée, tandis que le soufre se porte sur l'argent, se combine avec lui, forme du sulfure qui cristallise en raison d'actions lentes. Une fois que la surface de l'argent est recouverte d'une couche de sulfure qui ne fait qu'y adhérer, le soufre se glisse entre les interstices des petits cristaux formés, et donne naissance à une seconde couche de cristaux microscopiques de sulfure, et ainsi de suite jusqu'au centre de la lame; celle-ci augmente alors de volume sans changer de forme, par suite de ces dépôts successifs, dont les intervalles sont invisibles, même au microscope. La réunion de tous ces dépôts forme une masse compacte ayant une texture cristalline. Voilà une véritable cémentation, et il est probable que celles qui ont lieu dans la nature sont produites par un mode d'action semblable. On conçoit effectivement qu'un courant électrique qui traverse tous les corps, puisse déposer dans leur intérieur des éléments, lorsque les interstices moléculaires sont suffisants pour que ces élé-

ments puissent les traverser. J'expose là un fait, et non une idée théorique.

Avant de passer aux résultats obtenus avec d'autres métaux, je dois revenir sur le changement que les pièces d'argent ont éprouvé dans la fosse d'aisances.

On sait que l'argent subit une altération rapide dans les milieux où il existe des sulfures qui peuvent lui céder une portion de leur soufre, tandis que les autres parties s'oxident. Si l'action est lente, la masse d'argent se change en sulfure ayant une structure cristalline, sans que la forme ait changé, quoique le volume ait augmenté.

Dans les fosses d'aisances, cette transformation s'opère fréquemment en raison des sulfures qui s'y trouvent. Pour que l'action électro-chimique s'opère comme dans l'expérience précédente, il suffit que l'argent soit en contact avec une matière carbonacée, suffisamment conductrice, et qu'il y ait de l'air pour remplacer l'oxigène qui provient de la réduction de l'oxide de cuivre dans l'expérience précitée. Je ne fais donc, dans mes expériences, que de réunir les circonstances les plus favorables pour la production du phénomène, circonstances qui ne se trouvent pas toujours réunies dans la nature.

1582. Passons maintenant à la formation des sulfures de cuivre et de plomb, en employant toujours l'action des piles électro-chimiques, dont la force peut être augmentée, comme on l'a vu, suivant l'énergie des affinités que l'on veut faire naître.

Avec le cuivre, les effets varient suivant qu'on opère avec une solution de persulfure de potassium concentrée, ou une solution de protosulfure également concentrée. Dans le premier cas, au bout de quelques jours on commence à apercevoir quelquefois sur les parois du tube, de belles aiguilles blanches, radiées, d'un double sulfure insoluble de potassium et de cuivre, et qui est inaltérable à l'air. Ce composé, traité par l'acide nitrique, donne du sulfate de potasse et du sulfate de cuivre, avec dégagement de

gaz nitreux. La lame se recouvre quelquefois de cristaux de soufre et de petits tubercules de la même substance; on retrouve en outre du nitrate de potasse dans la solution. Ces effets ont particulièrement été obtenus en ajoutant, dans celle-ci, une petite quantité de sucre, dans le but de produire une réaction qui n'a pas donné les résultats que j'en attendais. Si l'on continue l'opération, l'acide nitrique et l'oxigène arrivant constamment réagissent sur les produits formés, les décomposent, donnent naissance à du sulfate et à du nitrate de potasse, puis à des cristaux de sulfure de cuivre irisés, qui sont mêlés de soufre en aiguilles. Il est donc nécessaire d'arrêter l'expérience à temps, si l'on veut conserver les premiers produits formés. Avec le protosulfure de potassium, les réactions sont les mêmes avec l'argent, c'est-à-dire, qu'il se forme un sulfure de cuivre cristallisé, d'un aspect gris métallique, en cristaux microscopiques, dont il est difficile de déterminer la forme, en raison de leur petitesse.

On obtient également cette réaction avec le persulfure de potassium, quand le courant électrique a une certaine intensité. Je ferai remarquer qu'il est souvent difficile de prévoir, quand on se sert d'un appareil électro-chimique composé de 3 à 6 éléments, les effets qui seront produits, attendu qu'ils dépendent de circonstances imprévues, relatives à la conductibilité des divers éléments employés.

Le plomb avec le protosulfure de potassium donne lieu d'abord à des réactions semblables à celles qui ont lieu sur de l'argent, avec cette différence néanmoins que le sulfure est d'abord pulvérulent; mais quand la dissolution est devenue moins concentrée, il se forme des masses tuberculeuses de sulfure de plomb, brillant, d'un aspect cristallin, semblable à celui de la galène. On obtient aussi quelquefois un double sulfure de plomb et de potassium en aiguilles blanches.

En général, les substances formées ont l'aspect de celles qui leur correspondent dans la nature.

Il résulte des faits exposés précédemment, que les appareils électro-chimiques simples peuvent être réunis en piles, dont l'action décomposante, dans chaque appareil, dépend du nombre de ces éléments, lesquelles piles peuvent produire un grand nombre de composés analogues aux substances minérales. Ces piles, qui agissent avec beaucoup plus d'énergie que les appareils simples dont je me suis servi jusqu'ici, fonctionnent, comme ces derniers, pendant un temps assez long et avec une énergie d'action dont l'électro-chimie pourra désormais tirer parti, en ayant l'attention d'enlever successivement les composés produits, si l'on ne veut pas les voir disparaître pour être remplacés par d'autres.

CHAPITRE V.

MÉTAUX OBTENUS CRISTALLISÉS A L'AIDE DE FAIBLES COURANTS ÉLECTRIQUES FONCTIONNANT PENDANT LONG-TEMPS.

1583. J'ai déjà exposé, avec de grands détails, dans le cours de cet ouvrage, divers appareils destinés à obtenir à peu près tous les métaux sous forme de cristaux réguliers; cependant je ne puis me dispenser d'entretenir de nouveau le lecteur des recherches qui ont été faites depuis sur le même sujet par M. P. G. Golding Bird (1).

Le procédé général dont j'ai fait usage consiste à construire des appareils électro-chimiques avec les substances mêmes sur lesquelles les réactions doivent s'opérer. M. Golding Bird a employé, au contraire, pour obtenir un courant continu de forces constantes, un appareil simple, composé d'une paire de plaques, analogue à celles qui composent l'appareil de M. Daniell. La solution métallique, dans laquelle se trouve la plaque de cuivre, est mise dans un tube de verre fermé en bas par un diaphragme de plâtre, et plongeant dans une faible dissolution d'eau salée contenue dans un grand vase, où se trouve la lame de zinc; la communication est établie entre les deux plaques métalliques, au moyen de fils métalliques. Soumises à l'influence de ce courant, les

(1) Trans. philos. 1838, p. 37.

solutions de cuivre, de fer, d'étain, de zinc, de bismuth, d'antimoine, de plomb et d'argent sont décomposées; les métaux apparaissent avec leur éclat métallique, et sous forme cristallisée; ce qui fait un contraste remarquable avec les masses irrégulières et spongieuses que l'on obtient des mêmes dissolutions, au moyen de fortes batteries. Les cristaux de cuivre sont très-beaux ainsi que les cristaux de bismuth, de plomb, d'argent. Ceux de bismuth sont lamellaires, d'un éclat pareil à celui du fer, mais avec une teinte rougeâtre particulière à ce métal. L'argent est blanc comme la neige et ordinairement en aiguilles. Divers métaux, comme le nickel, qui, par l'effet du courant de fortes batteries, se séparent de leurs dissolutions à l'état d'oxides, se présentent ici sous une forme métallique et brillante.

Suivant M. Bird, au moyen de cet appareil, on peut réduire les oxides métalliques, même les plus réfractaires, tels que la silice, par exemple, qui résiste à l'action des batteries puissantes, et que je n'avais obtenue jusqu'ici qu'alliée à une très-petite quantité de fer.

1584. En modifiant l'appareil, d'une manière légère, et en opérant comme je l'ai fait avec des solutions de chlorure, on est parvenu aussi à former des alliages de potassium et de sodium avec le mercure. On a formé également la combinaison de l'ammonium avec le mercure, et, dans cette dernière expérience, l'auteur a observé que l'interruption du courant électrique, pendant quelques instants seulement, suffit pour détruire tous les produits résultant d'une action longtemps prolongée; l'amalgame ammoniacal spongieux est alors décomposé instantanément, et l'ammoniaque formée se dissout immédiatement dans le liquide environnant.

Lorsque les deux fils fixés aux plaques de cette batterie élémentaire plongent dans une solution saline, il s'opère dans celle-ci des phénomènes de décomposition et de recomposition. Si les fils sont réunis, comme dans l'expérience précédente, non-seulement il se précipite du cuivre sur la lame de même métal, mais encore sur le

tampon de sulfate de chaux qui sépare la solution de sulfate de cuivre de la solution de sel marin. Les cristaux, qui sont très-beaux et très-prononcés, se déposent sous forme de veinules. J'avais observé tous ces effets il y a plus de dix ans. Il n'y a de différence que dans l'appareil employé.

CHAPITRE VI.

DESCRIPTION ET USAGE DE LA MACHINE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE DE M. CLARKE.

1585. Parmi toutes les machines électro-magnétiques mises en usage jusqu'ici, on doit distinguer, en raison de sa simplicité et de l'intensité de ses effets, celle qui a été composée par M. Clarke. Je vais en donner une description succincte, en indiquant en même temps son usage pour donner la commotion, opérer les décompositions chimiques, produire des phénomènes d'incandescence, de fusion, etc.

Voici les diverses parties qui composent cette machine : A (fig. 8) représente une série de six barreaux d'acier aimanté, recourbés en fer à cheval, disposés verticalement et reposant sur quatre vis fixées à la planche d'appui B, dont deux se voient en M N (fig. 9).

Une barre épaisse de cuivre *c* est percée, en son milieu, d'une ouverture dans laquelle passe un pêne avec une vis tournante destinée à maintenir l'aimant contre la planche B. On peut, par ce moyen, enlever facilement l'aimant sans déranger le reste de l'appareil. D représente l'armature d'un double cylindre de fer doux, G F, laquelle est fixée dans un mandrin de cuivre placé entre les pôles de la batterie A.

Cette pièce est mise en mouvement de la manière indiquée dans la fig. 9, au moyen de la roue E, d'un axe de rotation et d'un fil sans fin. Sur chaque cylindre est enroulé en hélice un fil fin de cuivre entouré de

soie, d'une longueur de 750 mètres. L'un des bouts de chaque hélice est soudé à l'armature du milieu, à laquelle est fixée en D, perpendiculairement à sa surface, une tige de cuivre munie de deux pièces de rupture H.

K représente un cylindre creux de cuivre auquel est soudé l'un des bouts libres des hélices, et qui est séparé de la tige au moyen d'un morceau de bois dur qui repose dessus; l'autre bout des hélices communique avec la tige.

O est un ressort en fil de fer destiné à exercer une pression contre le cylindre creux K, avec lequel il est en contact métallique, au moyen d'une vis fixée dans la plaque de cuivre M.

P représente une tige de cuivre verticale, carrée, s'adaptant à la plaque de cuivre N.

Q est un ressort de métal exerçant une faible pression sur la pièce de rupture H. Elle est tenue en contact métallique au moyen d'une vis à tête.

T est un fil de cuivre destiné à établir la communication entre les deux plaques de cuivre M, N.

Au moyen de cette disposition, ces diverses parties D, H, Q, P, N, sont en communication avec un des bouts, et K et M avec les deux autres bouts.

On conçoit très-bien que le ressort Q, pressant doucement sur la pièce de rupture H, les effets sont réguliers.

Les faces des cylindres de fer F, G, autour desquels sont enroulées les hélices, sont parallèles autant que possible avec celles du fer à cheval A, et en contact avec lui. Quand ce contact n'est pas établi, on dévisse l'écrou de la roue E, et on l'enlève de son axe au moyen des quatre vis dont il a été parlé ci-dessus, et de la vis de la plaque C; on ajuste alors la batterie avec la plus grande facilité.

Il faut encore que la pièce de rupture soit disposée de manière que le ressort Q se sépare en même temps que les cylindres de fer de l'armature quittent les pôles de l'aimant. Quant au ressort en fil de fer O, il presse

toujours, et doucement, contre le cylindre creux de cuivre K.

1585. Au moyen de ces dispositions, on se passe d'un bain de mercure, qui présente toujours des inconvénients. Lorsque l'on veut donner la commotion avec cette machine, on prend dans les deux mains, humectées avec une dissolution d'eau salée, les deux conducteurs de cuivre R, S, dont l'un est en communication avec la plaque M, et l'autre avec la plaque N, de la manière indiquée sur la figure; puis M, N sont réunis au moyen de la tige T. La commotion que l'on reçoit avec cet appareil, dès l'instant que l'on tourne la roue, est très-violente. Si l'on veut avoir un courant toujours dirigé dans le même sens, on ne met qu'une seule pièce de rupture. Dans ce cas, le circuit est interrompu quand le courant change, c'est-à-dire, lorsque chaque hélice quitte une branche de l'aimant.

A l'instant où l'on reçoit le choc, les muscles des bras se contractent avec violence, de manière à forcer les mains à serrer fortement les conducteurs, en leur ôtant tout pouvoir de s'en détacher.

En plaçant les deux fils de communication R, S, entre M, N, le choc n'est pas aussi puissant.

U et V sont des tiges en rapport avec les fils conducteurs, et munies de morceaux d'éponge dont on fait usage dans les applications de l'électricité à la médecine. Ces éponges sont humectées de solutions acides ou salées. On peut, avec leur secours, donner une succession de chocs les plus puissants là où il est nécessaire.

Quand on fait fonctionner cet appareil, si l'on regarde entre la face de l'armature de rotation et l'aimant en fer à cheval, on aperçoit une vive lueur qui va de l'une à l'autre. On aperçoit encore cette lumière aux pointes de rupture. On la voit aussi quelquefois briller entre les hélices F, G.

1586. Pour décomposer l'eau, M. Clarke fait usage de l'appareil fig. 10, disposé de la manière suivante : A est un vase de verre muni d'un couvercle de cuivre,

ayant un fond de bois dur, à travers lequel passent deux fils de cuivre auxquels sont soudés des fils de platine, et que l'on met en communication avec M et N. Deux tubes, A et B, sont remplis d'eau, puis on les pose sur les fils de platine, où ils sont maintenus par le liége C. Les deux plaques de platine C et D, que l'on met en communication au moyen de fils de cuivre avec M, N, sont destinées à montrer les effets des décompositions électro-chimiques. On place pour cela entre ces plaques un morceau de papier tournesol ou de curcuma, préalablement humecté avec une solution de sel neutre.

1587. M. Clarke emploie, au lieu des deux hélices précédentes et de leurs accessoires, qu'il appelle *armature d'intensité*, parce que le courant qui en résulte provient d'une électricité à forte tension, une armature de quantité, qui est formée de cylindres moins forts, et d'un fil de cuivre recouvert de soie de 40 mètres seulement, et dont le diamètre est plus gros.

La fig. 11 représente l'appareil muni de cette nouvelle armature. A est l'aimant en fer à cheval, D l'armature, F et G les deux hélices. Il faut encore avoir l'attention que le ressort quitte la pièce de rupture à l'instant où la pièce est verticale, attendu que c'est le moment où elle se trouve dans une position neutre relativement aux pôles de l'aimant.

1588. Pour brûler le fil de fer avec une vive scintillation, on met en communication ce fil par un bout avec la tige P, et l'on presse doucement l'autre bout sur la surface de l'armature rotatoire D.

Rien n'est plus simple que d'obtenir l'incandescence du fil de platine et l'aimantation d'un fil de fer doux.

1589. Si l'on veut obtenir des étincelles de diverses couleurs par l'emploi de différents métaux, on enlève (fig. 12) la pièce de rupture, et l'on y substitue le morceau de cuivre B. Dans la partie ouverte qui s'y trouve, on introduit un bout de fil d'un métal quelconque, d'or, par exemple; l'extrémité du ressort Q est aussi d'or. On obtient alors, en faisant fonctionner l'appareil, des étincelles d'une couleur pourpre.

1590. L'appareil fig. 13 est destiné à produire les phénomènes de rotation. A est un aimant en fer à cheval, reposant sur un trépied B; C, une coupe de mercure; DD, les conducteurs mobiles, terminés par deux petites coupes au sommet, dans lesquelles on met une goutte de mercure; E, une tige recourbée de communication. En ne faisant usage que d'une pièce de rupture X, et disposant les fils de communication comme on le voit dans la figure, on obtient la rotation continue.

1591. La combustion du charbon s'obtient avec la disposition indiquée fig. 14. Les conducteurs employés sont ceux dont j'ai déjà parlé; on remplace les éponges par des morceaux de charbon terminés en pointe.

Toutes les pièces destinées à faire les expériences que je viens de décrire se trouvent dans la caisse qui renferme également l'appareil.

CHAPITRE VII.

MACHINE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE ROTATIVE.

§ Ier. *Description de l'appareil de M. Jacobi.*

1592. On s'occupe beaucoup en ce moment d'appliquer l'électricité à la mécanique; de toutes parts on construit des machines électro-magnétiques à mouvement circulaire continu; mais jusqu'ici on n'a encore fait que des essais, plus ou moins heureux, qui n'ont amené aucune application utile aux arts. Néanmoins désirant parler des tentatives qui ont été faites à ce sujet, je ne saurais mieux faire que de décrire l'appareil de M. Jacobi, de Dorpat, qui parut en 1834, et auquel il a donné le nom d'*appareil magnétique à mouvement circulaire continu primitif*.

Ce physicien a renoncé à l'idée de construire un appareil qui donnerait un mouvement de va et vient produit par le pouvoir attractif et répulsif des barres magnétiques, mouvement qu'on aurait pu cependant changer en mouvement circulaire continu, à l'aide des moyens connus. D'un autre côté, si le renversement des pôles des aimants formés de barreaux de fer doux, placés dans des hélices, se faisait instantanément, on aurait alors une vitesse excessive; or, un système tournant autour d'un axe et capable de prendre un mouvement circulaire continu, est le seul qui soit susceptible de réaliser, en partie du moins, cette vitesse, qui ne peut devenir uniforme qu'en introduisant dans le système un élément résistant. Or, le

forces à vaincre sont le frottement des pivots et la résistance de l'air. Des expériences répétées ayant prouvé que le frottement des pivots était indépendant de la vitesse de rotation, du moins dans la limite des expériences, il n'y a donc que la résistance de l'air qui puisse produire cet effet. En donnant une direction convenable au mouvement giratoire, cette résistance peut être beaucoup diminuée, comme on va le voir.

La fig. 15 représente un appareil magnétique composé de huit barreaux arrangés symétriquement sur un disque mobile autour de l'axe A, et de huit autres barreaux fixés sur deux montants verticaux et deux traverses horizontales solidement établies. Ces barreaux doivent être disposés symétriquement, de manière à permettre aux faces extrêmes de se rencontrer le plus près possible. Dans la crainte que l'action ne fût trop oblique, il serait préférable d'arranger le système de manière que les barreaux cylindriques fussent situés à angle droit et non parallèlement, comme dans la figure; aussi M. Jacobi préférerait-il que les barreaux fussent disposés comme dans la figure 16, où f, f, etc., sont les barreaux fixes, et m, m, etc., les barreaux mobiles autour de l'axe a.

Le renversement des pôles étant un objet de la plus haute importance, il faut pouvoir l'opérer instantanément et précisément à la place où les pôles sont situés vis-à-vis les uns des autres. Le mécanisme qui l'effectue doit être mis en mouvement par l'appareil même, et tous les éléments qui le composent doivent être dans une dépendance du mouvement giratoire du système.

Le commutateur à bascule de M. Ampère ne pouvait servir à l'appareil magnétique de mouvement circulaire continu; il en est de même du mercure qu'on a l'habitude d'employer dans les expériences électro-magnétiques pour établir et rompre le contact métallique, comme il est facile de le comprendre : l'adhérence du mercure au corps métallique plongé dedans et retiré ensuite, varie avec la vitesse et la pureté du mercure; de là souvent il arrive que le renversement s'opérant plus

tôt ou plus tard, il se produit une attraction ou une répulsion en sens inverse de la rotation. Il est difficile, en outre, d'avoir constamment du mercure pur, puisqu'il se combine continuellement avec le métal avec lequel il est en contact; d'un autre côté, le mercure s'oxide facilement sous l'influence des décharges successives, et il est même quelquefois projeté en dehors des capsules. Les plaques amalgamées présentent également des inconvénients.

M. Jacobi a reconnu, après de nombreux essais, que le simple contact des métaux à surface nette suffit pour conduire un courant provenant d'une électricité à très-faible tension; d'après cela, la présence du mercure n'ajoute rien à l'énergie de l'action. Voici le commutateur qu'il a adopté pour le renversement des pôles: *a, b, c, d* (fig. 17), représentent quatre disques de cuivre fixés sur l'axe de rotation *e e;* les disques *a*, *b* et *c*, *d*, réunis par des tuyaux de cuivre *f*, *f*, sont parfaitement isolés de l'axe au moyen d'un autre tuyau de bois verni *g* ou d'une substance isolante. La périphérie de chaque disque est divisée en huit parties exactement égales, dont quatre, *h*, sont taillées en secteurs et remplies de pièces de bois d'ébène, formant avec le métal une surface unie.

Les disques sont arrangés sur l'axe de rotation de manière que les secteurs de bois et de métal correspondent alternativement, comme les parties ombrées l'indiquent. Z, Z, C, C, sont des barres de cuivre en forme de levier, très-mobiles sur leurs supports, destinées à conduire le courant. Le bras de levier le plus long forme à son extrémité un biseau, qui repose sur la périphérie du disque correspondant; l'autre bras est courbé et plonge dans un petit vase *k*, rempli de mercure. Les vases *k k*, *k' k'* sont réunis par des lames de cuivre, comme l'indique la figure 15. Les leviers sont toujours en contact avec les disques, mais alternativement avec les parties métalliques et les parties isolantes. Par leur mobilité sur leurs supports, ils cèdent à la

moindre inégalité de la surface, et le frottement qu'ils occasionnent est peu considérable. Les hélices qui entourent les barres mobiles sont réunies de manière à former un fil continu, dont les bouts *l*, *m*, sont soudés respectivement au système des disques *a*, *b* et *c*, *d*. Les autres hélices, pliées autour des barres fixes, sont aussi réunies, et les bouts *n* et *o* plongent, l'un dans un vase de mercure *p* attaché à l'appareil voltaïque, et l'autre dans un vase *k* du commutateur. Ainsi toutes les seize hélices ne forment qu'un seul fil conjonctif par l'intermédiaire du commutateur.

L'appareil voltaïque employé pour produire la force motrice consiste en quatre auges de cuivre, dans lesquelles plongent des plaques de zinc; cet appareil est mis en action avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique. Des flèches (fig. 17) indiquent la direction du courant; cette direction est renversée chaque fois que les pôles se rencontrent, pourvu que le commutateur soit disposé de sorte que les arêtes du levier quittent une des divisions pour passer à l'autre. Ce renversement s'opère instantanément, comme on voit, et est tout à fait indépendant de la vitesse de rotation.

Le même système, pour renverser les pôles, s'applique à un nombre quelconque de barreaux, pourvu que les sections des disques soient égales en nombre et puissent coïncider parfaitement.

M. Jacobi a fait une expérience dans le but d'établir le rapport qui existe entre la surface d'un couple et le poids que peut supporter une barre de fer doux soumise à l'action magnetisante du courant. Il est parti pour cela de la supposition, qui n'est exacte cependant que dans les appareils à courant constant, que les effets chimiques qui ont lieu dans la pile, et qui représentent la dépense de l'appareil, sont en raison directe de la surface active. Il a pris à cet effet une barre de fer doux, de 1 pouce $\frac{1}{2}$ de diamètre sur 28 pouces de long, pesant 14 livres $\frac{1}{2}$, recourbée en fer à cheval, de manière que les centres des branches se trouvaient à une distance

de 7 pouces. La barre, recouverte d'une étoffe de soie, fut enveloppée d'une hélice de fil de cuivre d'une ligne $\frac{1}{4}$ de diamètre et de 35 pieds de longueur.

Pour mesurer la puissance magnétique, ce physicien a fait usage d'une balance romaine et d'un poids supporté par des rouleaux, afin de pouvoir glisser facilement sur le bras du levier.

La surface de l'armature de fer doux avait une forme un peu convexe, afin que les extrémités des jambes, formant une surface plate et unie, ne fussent touchées que suivant une arête, dont la position formait un angle droit avec la direction du levier. L'armature était en contact avec les extrémités des jambes quand le levier était placé horizontalement. On avait tracé sur ce dernier une échelle, dont les divisions indiquaient la huitième partie du poids glissant, auquel était fixé un index.

Les piles dont M. Jacobi s'est servi consistaient en auges de cuivre d'une grandeur suffisante pour y plonger des plaques de zinc de 4, 16, 36, 64, 100, 144 pouces carrés. Ces appareils étaient chargés avec de l'eau renfermant en poids $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique.

Il a fait construire ensuite un double commutateur de huit disques, divisés en soixante-douze sections; dans cet appareil il y avait encore quatre leviers semblables aux premiers, qui reposaient sur les cylindres et réunissaient les disques deux à deux. Les autres extrémités de ces leviers plongeaient également dans des vases de mercure, devant recevoir les bouts des fils conjonctifs, destinés à être parcourus par des courants voltaïques ou magnéto-électriques, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Cet instrument, mis en mouvement au moyen d'une manivelle, qu'on pouvait tourner deux fois par seconde, pouvait effectuer, dans le même temps, cent quarante-quatre doubles renversements. M. Jacobi infère de là qu'il sera facile de changer ou d'interrompre le courant électrique mille fois dans une seconde, et même davantage.

Les expériences ont été faites avec chaque couple sans

interruption ; seulement on avait l'attention, chaque fois, de nettoyer la plaque de zinc et de renouveler le liquide. Il a reconnu néanmoins qu'il suffisait, pour avoir l'état primitif, d'exposer les plaques, et principalement la plaque négative, à l'action de l'air, jusqu'à ce qu'elle fût parfaitement sèche. Il a trouvé, en outre, que les auges en cuivre étaient peu convenables pour des expériences électro-magnétiques, et qu'il valait mieux employer des cylindres concentriques. M. Jacobi conseille même de rejeter l'usage du cuivre comme métal négatif, et d'adopter de préférence l'argent, le platine ou le plaqué, afin d'éviter les effets secondaires résultant de la précipitation du cuivre sur les lames de zinc. Je ferai observer, à cet égard, que l'on évite cet inconvénient en faisant usage des piles à courant constant. Voici le tableau des observations faites avec le pouvoir magnétique de la barre précédemment décrite :

RFACE	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	FORCE	
COUPLE.	poids.	poids.	poids.	poids.	poids.	poids.	poids.	poids.	poids.	poids.	moyenne.	calculée.
)uc. carrés	41,46	40,31	47,19	43,18	45,47	48,88	46,52	55,21	55,21	54,07	47,75	47,3
.....	126,32	123,43	105,21	125,67	128,67	130,16	124,39	120,55	130,16	130,16	126,45	126
.....	156,98	216,54	180,01	189,73	184,34	185,30	205,91	211,..	157,38	162,77	185 ..	182,3
.....	201,72	208,29	195,14	197,33	199,99	198,32	201,25	202,92	197,41	203,83	200,62	216,1
.....	266,63	243,21	236,45	235,65	229,93	232,75	232,75	228,79	127,11	227,11	236,65	236,3
.....	311,08	221,46	210,17	198,88	210,17	198,88	192,23	»	»	»	»	»

Les valeurs consignées dans la dernière colonne ont été calculées d'après la formule $A = \frac{(233,6)\,x}{20 + x}$, dont les constantes ont été déterminées par la méthode des moindres carrés.

1593. Le décroissement rapide des effets voltaïques dans les piles ordinaires oppose un grand obstacle à l'application de l'électro-magnétisme aux machines. Le mouvement de l'appareil magnétique est toujours fort rapide au commencement; mais sa vitesse décroît promptement, et cesse entièrement après un laps de temps qui ne dépasse pas une heure. Mais il n'en est pas de même, en employant des plaques de zinc amalgamé, et M. Jacobi a réussi à faire fonctionner l'appareil pendant 20, 22 et 24 heures sans rien changer à la pile. Le dégagement de gaz était très-considérable et avait lieu à la surface négative. La vitesse a d'abord été de 120 à 122 révolutions par minute, puis décroissait; une demi-heure après elle n'était plus que de 62 tours, effet qui a été attribué au commutateur, qu'on avait remplacé par un autre. Pendant le reste du temps, l'appareil faisait de 58 à 62 révolutions par minute.

En employant une pile de quatre éléments de deux pieds carrés, la vitesse n'a jamais surpassé de 120 à 130 révolutions par minute.

M. Jacobi, en étudiant l'emploi des piles thermo-électriques, pour le mouvement des machines, a craint les courants magnéto-électriques développés par le magnétisme en mouvement; inconvénient qui n'aurait pas lieu dans la pile hydro-électrique, attendu que la réaction qui en provient se trouverait presque entièrement détruite, les conducteurs liquides offrant trop de résistance au passage de ces courants. En faisant de nouvelles expériences à ce sujet, il a reconnu dans le fil conjonctif la double qualité de conduire le courant voltaïque et de représenter en même temps un fil ordinaire soumis à l'influence d'un aimant en mouvement. L'hélice produisant un aimant par le courant voltaïque, est en même temps une hélice magnéto-électrique, dans laquelle on plonge un aimant. Il regarde ces propriétés comme devant servir à résoudre le problème de la vitesse uniforme de la machine magnétique; car cette machine, mise en mouvement par le pouvoir magnétisant d'un

courant voltaïque, représente simultanément un appareil composé d'aimant en mouvement et capable de produire un courant magnéto-électrique en sens contraire du courant voltaïque. Ce premier est arrêté par la pile même, qui, n'étant composée que d'un seul couple, n'oppose pas une résistance trop forte au passage. Quant au contre-courant, M. Jacobi pense que la plus grande partie peut être utilisée en employant deux appareils du même genre, dont les fils conjonctifs, pliés en hélice, aboutiraient à une même pile. Les contre-courants se balanceraient pour anéantir leurs effets.

Le nombre des couples employés, pour affaiblir les effets du contre-courant, étant toujours à craindre dans les machines électro-magnétiques, M. Jacobi a fait quelques expériences, en augmentant le nombre des couples d'une pile voltaïque; il a trouvé que le pouvoir magnétique n'était pas sensiblement augmenté par le nombre croissant des couples, tandis que le contre-courant était considérablement affaibli, attendu qu'étant forcé de traverser un grand nombre de couches liquides, il avait tout à gagner à en agir ainsi.

Il s'est servi, à cet effet, de douze couples voltaïques, chacun de $\frac{1}{2}$ pied carré, au lieu de quatre auges en cuivre, chacune de 2 pieds carrés, dont il avait fait usage jusque-là; la vitesse a été de 250 — 300 tours par minute; l'acide employé était très-faible et avait servi depuis longtemps aux expériences. Le développement de gaz n'était appréciable ni à la vue ni à l'odorat. Ayant plongé deux fils de cuivre dans les couples p, o, et les ayant saisis, les mains imbibées d'eau salée, il reçut, pendant le mouvement de la machine, des commotions violentes, et sentit un picotement des plus désagréables à la partie supérieure du corps.

L'effet mécanique de l'appareil correspondant à la vitesse 250, 300 tours par minute, a été évalué à peu près à une demi-force d'homme.

Les détails dans lesquels je suis entré concernant l'emploi de l'électro-magnétisme dans les machines,

pourront servir de guide aux personnes qui voudront se livrer à des recherches pour résoudre ce grand problème.

Avant de terminer ce que j'ai à dire sur l'appareil électro-magnétique à mouvement rotatoire et continu, je dois ajouter que M. Jacobi, ayant interposé un galvanomètre ou un voltaïmètre dans le circuit, il a reconnu que pendant que la machine fonctionnait, l'action électrolytique de la batterie était beaucoup moindre, et quelquefois même elle était réduite à moitié de celle qui avait lieu quand la machine était arrêtée; le courant continuant toujours à passer dans les hélices qui entourent les barreaux de fer. On voit donc que si, d'une part, les courants électro-magnétiques diminuent la force de la machine, d'un autre côté, la dissolution électrolytique du zinc, qui fournit la plus grande partie du courant développé, est en même temps considérablement diminuée. On n'a pas encore déterminé les rapports mutuels qui existent entre l'intensité du courant avant et après l'action de la machine.

§ II. *Application à la navigation de l'appareil électro-magnétique à mouvement rotatoire continu.*

1594. M. Jacobi ne s'est pas borné à étudier les effets d'une machine rotative électro-magnétique à mouvement continu, il a voulu encore en faire l'application à la navigation. Voici les renseignements que nous trouvons, à cet égard, dans une lettre qu'il a adressée à M. Faraday, de Saint-Pétersbourg, sous la date du 21 juin dernier (1) :

Les premières tentatives pour adapter les forces électro-magnétiques à la navigation ont été faites sur la Néva, pendant l'automne de 1838, avec une chaloupe de dix rames munies de roues à palettes, mises en mou-

(1) Philos. magazine, sept 1839.

vement par une machine électro-magnétique : cette chaloupe était montée par dix ou douze personnes. Mais M. Jacobi ne fut pas satisfait du résultat en raison de plusieurs vices de construction, du manque d'isolement dans les diverses parties métalliques, et de dérangements dans la machine, lesquels ne pouvaient être réparés immédiatement. Cependant il reconnut que, pour obtenir la force d'un cheval, il fallait employer une batterie de 20 pieds carrés de platine, et qu'il était probable qu'on arriverait au même but avec 8 ou 10 pieds carrés.

Toutes les réparations et changements jugés nécessaires dans les diverses parties de l'appareil ayant été exécutés, le 2 septembre dernier, les expériences recommencèrent sur la Néva. La chaloupe, montée par douze personnes, mue par une force de $\frac{1}{4}$ de cheval, remonta la Néva, pendant plusieurs heures, avec un vent contraire très-violent. Voici les détails de cette expérience remarquable, que je trouve consignés dans la *France littéraire* (1):

L'appareil qui servait à monter la chaloupe n'avait que 4 pieds de hauteur, 1 pied $\frac{1}{2}$ de longueur, et un peu moins d'un pied de largeur.

Le mécanisme, dont le type est probablement le même que celui dont j'ai donné précédemment la description, paraissait composé de deux colonnes entre lesquelles se prolongeait, à travers toute la chaloupe, un axe de fer chargé de transmettre le mouvement. A l'une des extrémités se trouvaient les roues, comme dans les bateaux à vapeur. Les deux colonnes renfermaient les aimants électro-magnétiques et tous leurs accessoires. La batterie voltaïque en relation avec les aimants était établie du côté opposé de la chaloupe; elle était composée de soixante-quatre couples zinc et platine, offrant une surface de 16 pieds carrés, chargés avec une solution aqueuse d'acide sulfurique. Les lames de platine étaient séparées des lames de zinc au moyen de plaques d'argile poreuse. Cette pile avait

(1) N° de septembre-octobre 1839.

été chargée à midi, et n'a pas cessé de fonctionner avec une égale énergie jusqu'à dix heures du soir.

On aura une idée de la force de cette pile quand on saura qu'un fil de platine de la longueur de 6 pieds et de la grosseur d'une corde de piano, introduit dans le circuit, a été rougi immédiatement; un autre fil, plus gros, d'une moindre longueur probablement, a été fondu. L'iridium a également été mis en fusion.

Les résultats importants obtenus par M. Jacobi doivent encourager les praticiens à continuer des recherches qui pourront fournir un jour à l'industrie des moyens puissants d'action. La substitution des barres en fils de fer aux barreaux de fer ordinaire augmentera infailliblement l'énergie des aimants, et par suite l'intensité du courant, comme on va le voir ci-après.

§ III. *Aimants électriques en fils de fer.*

1595. L'application de l'électro-magnétisme aux machines exige l'emploi d'aimants électro-magnétiques très-puissants; dès lors on doit rechercher les moyens d'augmenter leur énergie presque indéfiniment. M. Page (1) y est parvenu en construisant des barreaux en fils de fer ou en lames de fer doux, mais préférablement avec des fils. Ces barreaux ont été construits avec des fils de fer doux de diverses longueurs et de différents diamètres, réunis en faisceau : treize avec du fil n° 26, deux avec du n° 16, et un avec le n° 8. Quand les fers à cheval ont une longueur de 10 pouces et un diamètre de 1 pouce, les fils fins sont préférables. Pour les aimants plus longs, il faut prendre les fils les plus gros.

Un de ces aimants, du poids de 8 onces, avec 4 hélices de fil fin qui en recouvraient 4 autres d'un fil plus gros et parcourus par un courant de faible intensité, a donné un choc insupportable. Les deux aimants les plus forts

(1) Journal de Sillimen.

étaient formés, l'un de 100 fils de 6 pouces de long, et l'autre de 500 fils de 10 pouces. Avec ce dernier on obtenait de très-belles déflagrations, et les chocs les plus forts. Son pouvoir décomposant était également considérable, eu égard aux moyens employés. Un autre aimant, construit avec 1,000 fils d'un pied de long, avait une force inférieure à celui de 500 fils. Ce barreau ayant été coupé en deux, chaque moitié indiquait un pouvoir aussi grand que l'aimant total. Un des avantages que l'on obtient en prenant des fils, est de préparer avec facilité des aimants courbés en U.

Pour construire ces aimants, on entoure un faisceau de fil droit de fer, avec autant de spires que l'on veut d'un fil de cuivre, et on le recourbe ensuite. Le meilleur des aimants dont on vient de parler a été recouvert avec 200 pieds de fil fin entourant quatre spirales de gros fil.

Tous les aimants construits d'après ces principes ont été essayés avant et après leur courbure, et on n'a point observé de changements dans leurs propriétés. En combinant les courants secondaires produits dans le grand et le petit fil, la commotion était telle qu'il était difficile de laisser le bout des doigts sur les fils. Une seule paire thermo-électrique, chauffée et refroidie, en la mettant en relation avec le fil fort, donnait une étincelle brillante et un choc que l'on ressentait jusque dans le poignet. L'emploi de 3 paires thermo-électriques augmentait sensiblement les résultats.

M. Page pense, et je partage son opinion à cet égard, que la grande puissance des aimants dont on vient de parler, c'est-à-dire, des aimants construits avec des plaques ou des fils fins, peut être attribuée à plusieurs causes : 1° à l'homogénéité du fer, qui favorise nécessairement le développement du magnétisme, et par suite sa destruction quand on enlève la cause excitante; 2° à la somme des actions d'aimants fortement chargés, et d'autres causes que je n'énumère pas.

M. Page ajoute que cette puissance énergique doit être attribuée à l'influence mutuelle neutralisante des ai-

mants individuels dans un semblable arrangement polaire. Il cite à cet égard les expériences suivantes : un bout de fil de fer bien fin, de 3 ou 4 pouces de long, qu'on touche avec un aimant ordinaire, devient magnétique; mais si on le prend alors avec précaution, on trouve qu'il conserve le pouvoir de soutenir plus que son poids de fer. Mais si, le tenant par un bout, on le presse de l'autre, entre le pouce et le doigt, son magnétisme se perd à l'instant. La perte du magnétisme est si rapide, que M. Page a essayé l'influence d'un aimant, dans les mêmes circonstances, sur le développement de l'électricité. Il a suspendu, à cet effet, un long morceau de fil de fer, ayant encore un pouvoir magnétique considérable, de manière à ce qu'il pût osciller librement dans une spirale de fil de cuivre. Un petit coup frappé sur le fil de fer suspendu déterminait un fort courant à travers la spirale qui était en communication avec un multiplicateur.

En prenant un certain nombre de bouts de fil de fer bien fin, et aimantés séparément à un point tel que chacun d'eux puisse soutenir un autre fil de même poids, si on les combine ensuite en faisceau, au lieu du pouvoir de suspension des éléments réunis, on arrive à peine au pouvoir d'un de ces éléments. Cet effet est dû évidemment à l'influence neutralisante des pôles semblables, qui détermine principalement, suivant M. Page, la supériorité de l'aimant électro-magnétique composé. J'avoue que je ne me rends pas bien compte de cette conclusion.

CHAPITRE VIII.

DIVERSES APPLICATIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ Ier. *Procédé pour obtenir des copies en relief et en creux.*

1596. M. Jacobi, dans sa lettre à M. Faraday, dont j'ai fait mention précédemment, lui a annoncé qu'il était parvenu, au moyen de l'action voltaïque, à obtenir des copies en relief et en creux d'une planche de cuivre gravée, avec une exactitude telle que les lignes les plus délicates sont reproduites avec une rare perfection. L'appareil destiné à opérer ces effets se compose de deux parties : 1° d'un vase divisé, à la manière des couples voltaïques, en deux compartiments, que l'on remplit d'une solution saturée de sulfate de cuivre; dans l'un d'eux plonge la planche de cuivre gravée, dans l'autre une lame du même métal; 2° d'un couple voltaïque ordinaire mis en rapport avec la première partie de l'appareil, de telle sorte que la planche gravée est en relation avec le pôle négatif, et la lame avec le pôle positif. Un multiplicateur à fil court est introduit dans le circuit, afin de connaître à chaque instant sa force et pouvoir la régler de manière à avoir des effets constants. Pour régler la force du courant, on éloigne plus ou moins les lames métalliques; l'on modifie la longueur du fil de jonction ou bien le pouvoir

conducteur du liquide en contact avec le zinc. Le succès de l'opération exige que la solution de cuivre employée soit toujours saturée. L'action de l'appareil doit être telle qu'en vingt-quatre heures il y ait environ de trois à quatre grammes de cuivre réduit pour un carré de 25 millim. de côté.

D'après cet arrangement, la lame de cuivre s'oxide, tandis que la planche gravée se couvre de cuivre réduit à l'état métallique. Il résulte de là que la solution reste concentrée. On devait s'attendre, dit M. Jacobi, à trouver exactement la même quantité de cuivre oxidé d'un côté qu'il y en a de réduit de l'autre; mais l'expérience prouve qu'il existe toujours une différence plus ou moins grande, et qui paraît à peu près constante, puisqu'elle n'augmente pas après un certain temps si l'on prolonge l'expérience.

Quand on se borne à employer une solution concentrée de sulfate de cuivre, celle-ci n'est pas décomposée, même en employant plusieurs couples; l'aiguille aimantée du multiplicateur est fortement affectée à l'instant où l'on ferme le circuit; mais elle ne tarde pas à revenir à zéro : il n'en est pas de même quand on ajoute à la solution une petite quantité d'eau chargée de quelques gouttes d'acide sulfurique; dans ce cas, le courant devient très-énergique et constant, et la planche gravée se recouvre de cuivre métallique. En remplaçant la solution de sulfate par une solution aqueuse d'acide sulfurique, l'eau est rapidement décomposée, même avec un seul couple voltaïque; cet effet était connu, puisque l'on peut décomposer l'eau avec un seul couple, toutes les fois que l'électrode positif est formé d'un métal oxidable. Dans ce cas, la réduction du cuivre dissous n'a pas lieu immédiatement; elle ne commence que lorsque le liquide a acquis une couleur bleue; mais le métal réduit est sans cohésion, et ne peut servir par conséquent à former les reliefs que l'on a en vue. Cette expérience a été continuée pendant trois jours, jusqu'à ce que l'électrode positif fût à peu près dissous; la couleur du liquide a

continué d'acquérir une teinte bleue de plus en plus foncée, et le dégagement de l'hydrogène a toujours continué, mais en diminuant. De là M. Jacobi a tiré la conséquence que dans les actions voltaïques secondaires, on n'y rencontre ni cette simultanéité d'effets, ni cette nécessité d'entrer en combinaison ou de se décomposer, chose que l'on observe dans les actions électro-chimiques primaires.

Ce phénomène est tellement complexe, qu'il est nécessaire de faire une étude particulière pour démêler les divers effets produits.

M. Jacobi a remarqué que l'on peut se servir pour planche gravée, non-seulement des métaux plus négatifs que le cuivre, mais encore des métaux positifs, et quelques-uns de leurs alliages, à l'exception du laiton, bien que ces métaux décomposent les solutions de cuivre avec une grande énergie, quand ils ne forment pas de couple voltaïque. Il paraît que l'on peut multiplier presque indéfiniment les reliefs et les creux au moyen de l'action voltaïque. Il est bien entendu que, pour obtenir les creux, on se sert des reliefs produits.

Il paraît, d'après une note que je trouve dans la *France littéraire*, déjà citée, que M. Jacobi est parvenu à former des lames de métal, d'une cohésion suffisante pour être employées dans les arts, sans avoir besoin d'être fondues de nouveau. Dans cette note, on dit qu'il fait usage d'une solution de nitrate de cuivre, soumise à l'action d'un très-faible courant voltaïque. Il obtient, dit-on, ainsi du cuivre, qui, par sa pureté et sa malléabilité, est infiniment supérieur au cuivre ordinaire. Il y a peut-être de l'exagération dans les qualités que l'on attribue au cuivre ainsi obtenu; cependant je dois dire que les expériences auxquelles je me livre depuis près de quatre ans, pour le traitement électro-chimique des minerais d'argent, de cuivre et de plomb, m'ont donné des résultats à peu près semblables pour le cuivre. J'obtiens bien des lames de cuivre, parfaitement pur, exempt de fer, par conséquent, présentant une grande force de cohésion;

mais, en général, ce cuivre est pailleux, et ne peut être employé dans les arts sans une fusion préalable. Peut-être M. Jacobi a-t-il mieux réussi; mais, comme je manque de renseignements positifs à cet égard, je ne puis rien ajouter à ce que je viens de dire.

Les travaux électro-métallurgiques dont je viens de parler ont pris une telle extension, que les résultats auxquels je suis parvenu, en opérant sur des masses considérables de minerai d'argent, de cuivre et de plomb, ne peuvent, en raison même de leur étendue, être exposés ici. Je m'occuperai, immédiatement après la publication de cet ouvrage, à réunir tous ces résultats, dans un ouvrage spécial, où je mettrai en regard tous les procédés métallurgiques en usage pour traiter ces métaux, afin que les industriels soient à même d'en faire la comparaison.

§ II. *Éclairage au gaz produit par l'action voltaïque.*

1597. M. Jacobi s'est servi de l'action d'une batterie constante, d'une construction particulière, et sur laquelle je n'ai encore aucun renseignement positif, pour obtenir des gaz mélangés, en quantité suffisante pour éclairer une vaste pièce, par le système Drumond; la quantité de gaz produite était d'environ 3 ou 4 pieds cubes par heure. L'eau qui servait à cette opération était acidulée par l'acide sulfurique, ayant une densité de 1,33; les électrodes étaient en platine; les gaz, avant d'arriver au lieu de la combustion, traversaient un tube de verre rempli de chlorure de calcium, de sorte qu'il n'y avait ni gazomètre, ni réservoir. Dès l'instant que le circuit était fermé, le jet devenait lumineux, et la flamme brûlait tranquillement avec la même intensité pendant quelque temps. La batterie destinée à produire la décomposition occupait un espace d'environ 10 pouces sur 8, et à peu près 9 pouces de hauteur.

LIVRE XVII.

DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

DES PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX DE LA FOUDRE.

§ Ier. *Signes précurseurs de l'orage.*

1598. M. Arago a inséré dans l'Annuaire du Bureau des longitudes, pour 1838, un article aussi complet qu'on pouvait le désirer, sur tous les phénomènes de la foudre observés jusqu'ici, et dont les relations se trouvent éparses dans une foule de recueils et d'ouvrages scientifiques. Il en a discuté toutes les conséquences avec cette sagacité et cette finesse de tact que tout le monde lui reconnaît. C'est donc un devoir pour moi de donner ici un précis de ce travail important, afin de présenter au lecteur l'ensemble des principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur les phénomènes qui précèdent, qui accompagnent et qui suivent la chute de la foudre, en évitant toutefois de revenir sur les faits que j'ai déjà exposés en traitant de l'électricité atmosphérique (1). Les descriptions données par M. Arago sont si claires et si précises que je ne m'en écarterai que le moins qu'il me

(1) Tome IV, de 737 à 795.

sera possible; fidèle en cela au plan que je me suis tracé en commençant la publication de cet ouvrage, de rapporter souvent textuellement l'opinion des physiciens dont je décris les travaux, en me bornant seulement à les accompagner d'observations qui ne leur ôtent pas leur caractère d'originalité. Je n'y substitue mon opinion qu'après avoir exposé la leur avec assez de détails pour que le lecteur puisse la connaître parfaitement, et encore ne le fais-je qu'avec la plus grande réserve. Voilà, je crois, comment il faut en agir, quand on veut présenter au public le traité complet d'une science, dans le but de lui donner une idée exacte de son état actuel. Au surplus, j'ai toujours présent à la pensée cet ancien adage : Les théories passent, et les faits restent.

Voyons quels sont les signes précurseurs d'un orage.

1599. Lorsqu'un orage est sur le point de se former, dit Beccaria, les nuages qui le recèlent éprouvent une espèce de fermentation dont les autres sont privés. Ces nuages, ordinairement très-denses, s'élèvent assez rapidement de quelques points de l'horizon; ils sont terminés par un grand nombre de contours curvilignes brusquement et nettement terminés, comme les montagnes domiques nous en offrent un exemple. Ils se gonflent, diminuent de nombre et augmentent de grandeur, tout en restant attachés invariablement à leur première base. Entre eux et l'horizon on aperçoit un gros nuage très-sombre, par l'intermédiaire duquel il semble communiquer avec la terre, et dont la teinte obscure se transmet de proche en proche au premier. On voit, en outre, se former d'autres nuages qui, sous l'apparence de longs rameaux, et sans s'en détacher, couvrent graduellement le ciel. A l'instant où ces rameaux, ces lambeaux de nuages, si je puis m'exprimer ainsi, commencent à paraître, on aperçoit çà et là dans l'atmosphère des nuages légers dont les mouvements sont brusques, incertains et irréguliers. Beccaria leur a donné le nom de *ascitizi* ou nuages additionnels.

Lorsque le grand nuage obscur et orageux a dépassé

le zénith, on voit alors un grand nombre de ces petits *ascitizi*, dont on ignore et l'origine et d'où ils viennent; leurs contours sont déchirés et morcelés; leur marche vive, irrégulière et incertaine, quoique toujours horizontale. Quand deux de ces petits nuages viennent à se rencontrer, ils paraissent s'étendre l'un vers l'autre; presque jusqu'au contact, puis se repoussent vivement, et les parties avancées se reploient par un mouvement contraire.

Voilà ce qui se passe sur la face du nuage qui est tournée vers la terre. Veut-on connaître l'état de sa surface supérieure, il faut se transporter sur de hautes montagnes au-dessus de la région des orages. Des officiers d'état-major français, occupés à des travaux trigonométriques dans la chaîne des Pyrénées, et qui se sont trouvés souvent dans cette position, ont remarqué qu'alors même qu'une couche de nuages semble parfaitement unie, parfaitement de niveau sur sa surface inférieure, la surface opposée est remplie de très-hautes protubérances et de profondes cavités.

Voici encore un signe précurseur des orages qui a été observé par M. Hossard, l'un de ces officiers, et dont on n'avait pas fait mention avant lui: « Pendant les grandes « chaleurs, il se produit tout à coup, sur plusieurs points « de la couche des nuages inférieurs, des soulèvements « qui se prolongent comme de longues fusées verticales, « et à l'aide desquels des régions atmosphériques assez « distantes peuvent se trouver en communication immé- « diate. »

Franklin s'explique d'une manière peut-être encore plus explicite que Beccaria; suivant lui, un nuage isolé ne saurait être orageux. Lorsqu'un observateur, dit-il, est placé à peu près sur le prolongement horizontal d'un gros nuage qui lance des éclairs, et d'où se fait entendre le tonnerre, il aperçoit sous ce gros nuage une série de petits nuages placés les uns au-dessous des autres, et dont les plus bas sont à peu de distance de la terre.

La plupart des météorologistes ont partagé l'opinion

de l'illustre philosophe américain, relativement à la question de fait, de la non-existence d'un nuage orageux unique; de Saussure, entre autres, s'exprime à cet égard de la manière suivante, dans la relation de son voyage au col du Géant:

« Quant aux orages, je n'en ai vu naître dans ces mon-« tagnes que dans le moment de la rencontre ou du con-« flit de deux ou plusieurs nuages. Au col du Géant, « tant que nous ne voyions dans l'air ou la cime du mont « Blanc, qu'un seul nuage, quelque dense et quelque obs-« cur qu'il parût, il n'en sortait point de tonnerre; mais « s'il s'en formait deux couches l'une au-dessus de l'autre, « ou s'il en montait des plaines ou des vallées qui vins-« sent atteindre ceux qui occupaient les cimes, leur ren-« contre était signalée par des coups de vent, des ton-« nerres, de la grêle et de la pluie. »

Quelques observateurs, à la vérité, ont trouvé que la foudre grondait quelquefois dans un nuage isolé, d'où il s'échappait également des éclairs. Je citerai particulièrement le fait suivant, consigné par M. Marcorelle, dans les Mémoires de l'Académie de Toulouse: Le 12 septembre 1787, le ciel étant serein et parfaitement pur, sauf un *petit nuage* qui paraissait à la vue exactement rond, et de 15 à 16 pouces de diamètre, la foudre tout à coup gronda, et tua la femme Bordenave, après l'avoir brûlée au sein, sans avoir endommagé ses vêtements. Je pourrais citer encore d'autres exemples analogues qui tendraient à prouver que la foudre peut éclater d'un nuage isolé.

Je ne dois pas oublier non plus de dire que Beccaria, dont l'autorité est d'un si grand poids dans tout ce qui concerne l'électricité atmosphérique, a avancé que la foudre ne part jamais des nuées fumeuses, c'est-à-dire, de ces couches de nuages qui paraissent avoir une composition uniforme, et dont la surface est d'une grande régularité.

Les phénomènes de la foudre se manifestent aussi dans des nuées qui n'ont pas une origine atmosphérique, telles que celles qui sortent du cratère des volcans.

Dans tous les siècles, on a observé les effets de la

foudre dans les phénomènes volcaniques. Pline le jeune en fait mention dans ses deux lettres à Tacite, où il raconte l'éruption du Vésuve, arrivée en 79 de notre ère, dans laquelle son oncle, Pline le naturaliste, perdit la vie.

Le P. della Torre en cite aussi un grand nombre d'exemples dans ses ouvrages. En parlant de l'éruption du Vésuve de 1812, il dit « que la fumée excessivement « dense dura depuis le 12 jusqu'au 22 août, et que la « foudre se montra souvent au milieu de cette fumée. »

Bracini, qui a été témoin oculaire de l'éruption de 1631, rapporte « que la colonne de fumée qui s'éleva du « cratère s'étendit dans l'atmosphère jusqu'à la distance « de 40 lieues, et que, pendant le trajet de ce nuage « d'une espèce particulière, il en sortit souvent des foudres « qui tuèrent plusieurs personnes et plusieurs animaux. »

Il est inutile, je crois, de rapporter d'autres citations. Je résumerai tous les effets du même genre qui ont été observés pour prouver l'existence des phénomènes de la foudre dans les éruptions volcaniques, et dont j'ai déjà parlé dans le premier volume, en traitant des phénomènes volcaniques : « Un bruit souterrain, semblable « à celui du canon, ou un fracas de voitures roulant sur « le pavé, des tremblements de terre, et assez fréquem- « ment des changements dans l'état de l'atmosphère, « sont les signes avant-coureurs d'une éruption volcani- « que. Elle commence ordinairement par une colonne de « fumée épaisse, qui s'élève à une hauteur prodigieuse, « et finit, quand elle n'a plus de vitesse de projection, « par se refouler sur elle-même, de manière à former une « série de sphères, de vapeurs aqueuses, qui, se conden- « sant par le froid des régions supérieures, retombent « en pluies abondantes, accompagnées de tonnerres ef- « froyables. Du milieu de cette colonne s'élance une gerbe « de feu visible à sa partie supérieure. Cet ensemble de « fumée et de flamme, sillonné dans tous les sens par la « foudre, forme le tableau le plus imposant que la nature « puisse nous offrir. »

1600. Parlons maintenant de la hauteur des nuages orageux.

On peut prendre d'abord pour signe caractéristique les effets de fusion et de vitrification que l'on observe sur certaines roches à la partie culminante des montagnes.

M. de Humboldt a observé ces effets de fusion, comme je l'ai déjà dit (1), au sommet de la montagne de Toluca, à 4,620 mètres au-dessus du niveau de la mer; Saussure, au sommet du mont Blanc, à 4,610 mètres d'élévation; Ramond, au mont Perdu, à 3,410 mètres, etc. On est donc porté à croire que dans ces montagnes les nuages orageux se trouvent au moins à ces diverses hauteurs.

M. Arago fait observer, à cet égard, que la conséquence est juste, mais que la démonstration manque de rigueur, attendu qu'on est parti d'une opinion commune que la foudre s'élance des nuages et est dirigée par conséquent du haut en bas; or il existe des faits qui prouvent que des objets peuvent être frappés et endommagés par des coups de foudre partis de nuages beaucoup plus bas qu'eux. Ainsi ce mode ne peut être employé rigoureusement pour trouver la hauteur des nuages orageux.

Cherchons donc dans les relations des voyageurs des notions plus certaines.

On trouve dans l'ouvrage de Bouguer, sur la figure de la terre, que lui et la Condamine furent surpris par un orage sur le Pichencha, un des sommets de la Cordillière du Pérou, situé à 4,868 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Le 5 juillet 1788, MM. de Saussure père et fils ont été également assaillis par un orage sur le col du Géant, élevé de 3,471 mètres également au-dessus du niveau de la mer. Les nuées orageuses d'où s'échappaient les éclairs et les coups de tonnerre qui se succédaient rapidement, flottaient encore au-dessus de la montagne, à une hauteur qui ne fut pas déterminée. D'après d'autres observations, on est porté à croire que, dans les Alpes, le siége des orages est à environ 4,500 mètres au-dessus du niveau de la mer.

---

(1) T. IV, p. 784.

Dans les Pyrénées, MM. Peytier et Hossard ont trouvé que les orages s'engendraient dans une couche de nuages dont la surface la plus voisine de la terre se trouvait à 3,000 mètres de hauteur verticale au-dessus du niveau de la mer.

Les faits manquent pour résoudre la question : les limites que nous venons de reconnaître dans les montagnes sont-elles les mêmes pour les pays peu élevés au-dessus de la mer? C'est ce qu'on ignore.

1601. On détermine la hauteur des nuages, au moyen du temps qui s'écoule entre l'apparition de l'éclair et l'instant où le bruit du tonnerre se fait entendre à l'observateur. La vitesse du son étant connue, il suffit de multiplier le nombre de mètres qu'il parcourt pendant une seconde, par le nombre de secondes écoulées.

Voici quelques hauteurs de nuages déterminées par ce procédé : dans les Mémoires de Delisle, membre de l'Académie des sciences, on trouve que, le 6 juin 1712, la hauteur verticale des nuages orageux était de 8,080 mètres. Dans d'autres circonstances, le même observateur l'a trouvée de 2,400 mètres, de 1,400, et même de 1,000. Mais je dois dire que dans ces observations on n'a pas tenu compte de la hauteur angulaire des éclairs, de sorte que les observations précédentes ne peuvent donner que de simples limites.

Dans les régions équinoxiales, à l'Ile de France, à Manille et à Pondichéry, où Legentil a séjourné, la couche inférieure des nuages n'est pas à plus de 900 mètres au-dessus du sol. Cependant cette règle n'est pas générale, attendu que, le 28 octobre 1769, à Pondichéry, les nuages orageux se trouvaient à plus de 3,300 mètres.

A Tobolsk, la hauteur verticale des nuages orageux varie de 214 à 800 mètres.

§ II. *Des différentes espèces d'éclairs.*

1602. Les éclairs qui sillonnent une nuée orageuse,

en s'élançant vers la terre, consistent ordinairement, comme tout le monde sait, en un trait, en un sillon de lumière, très-resserré, très-mince. La plupart du temps ils sont blancs; mais des météorologistes ont annoncé en avoir vu de couleur purpurine, violacée Les éclairs ne se dirigent jamais en ligne droite, mais en lignes brisées, en zigzags.

M. Arago, en raison des différences que présentent ces éclairs, en a fait plusieurs classes. 1re classe. Sont rangés dans cette classe les éclairs qui, à la suite de plusieurs zigzags, sont retournés vers la région d'où ils sont partis; en voici un exemple : on trouve le passage suivant dans le récit que Sorrentino a fait de l'éruption du Vésuve de 1707 :

« Les habitants, dans l'obscurité la plus profonde, « se trouvaient au milieu des éclairs. Les éclairs qui sor- « taient de la fournaise du Vésuve ne dépassaient pas « dans leur course le cap Pausilippe, où s'arrêtait « aussi le nuage de cendres. Là, ils se repliaient et « retournaient par le même chemin frapper la fournaise « d'où ils étaient sortis. »

Sir William Hamilton cite un fait semblable dont il fut témoin dans l'éruption du Vésuve.

Quoi qu'il en soit, la décharge électrique, ou l'éclair qui en est la conséquence, se porte ordinairement des nuages vers la terre, ou vers d'autres nuages.

Quand les éclairs suivent la première direction, on a cru voir quelquefois que l'extrémité inférieure du trait de lumière se présentait sous la forme d'un dard; mais ce qu'il y a de plus certain, c'est que parfois ces éclairs se bifurquent, se partagent même en trois rameaux, qui atteignent souvent des points fort éloignés les uns des autres. C'est le cas d'une décharge électrique qui se divise en plusieurs parties, suivant la conductibilité des corps qui se trouvent sur le passage de l'électricité.

Nicholson rapporte dans un journal le fait suivant : « Le 19 juin 1781, un violent orage passa sur l'extré-

« mité occidentale de Londres. J'étais alors à Battersea, « et je fis la remarque que les éclairs, accompagnés « d'ailleurs d'explosions très-marquées et très-distinctes, « furent, dans beaucoup de cas, fourchus à leur extré- « mité inférieure, mais jamais dans le haut. » Aujourd'hui que nous connaissons les effets de ces décharges électriques, ce fait est facile à expliquer.

L'abbé Ferrara dit que, le 18 juin 1763, il se forma sur le revers méridional de l'Etna, et à quelque distance du sommet, un certain nombre d'ouvertures d'où sortaient d'immenses globes d'une fumée noire, mêlée de cendres et de poussière. Ces nuages étaient traversés sans cesse par des éclairs à trois pointes.

1603. Passons aux éclairs de la seconde classe, dont la lumière, au lieu d'être concentrée en un trait sinueux, presque sans largeur apparente, occupe un espace considérable. Cette lumière n'a d'ailleurs ni la blancheur ni la vivacité des éclairs de la première classe. Sa teinte est souvent d'un rouge très-intense, mêlé quelquefois de bleu ou de violet. Cette lumière, tantôt ne paraît illuminer que les bords des nuages d'où s'échappent les éclairs qui la produisent, tantôt embrasse toute leur étendue superficielle, de manière à faire croire que les nuages s'entr'ouvrent.

On distingue encore des éclairs qui diffèrent des précédents, sous le rapport de la forme, de la vitesse et de la durée, qui est pour ainsi dire instantanée. Les éclairs de cette troisième classe sont visibles, au contraire, pendant une, deux, etc., dix secondes ; ils se transportent des nuages vers la terre pendant un temps assez appréciable pour que l'on puisse suivre de l'œil leur marche et apprécier leur vitesse ; les espaces parcourus sont circonscrits, nets et définis, et d'une forme qui approche de celle d'une sphère. Ces éclairs sont donc de véritables globes de feu, dont l'existence est aujourd'hui constatée, bien qu'on ne connaisse pas encore la cause de leur formation. M. Arago pense qu'ils peuvent servir à expliquer comment il se fait que, dans quelques circonstances,

très-rares à la vérité, de bons paratonnerres sont sans effet pour garantir des effets de la foudre. Je vais citer quelques exemples de l'apparition de ces globes.

« En mars 1720, pendant l'orage le plus violent, « un globe de feu tomba à terre près de Horn. Après « avoir rebondi, ce globe alla frapper le dôme de la « tour et y mit le feu. »

« Durant les éruptions du Vésuve de 1779 et de « 1794, Hamilton et d'autres observateurs en virent, à « plusieurs reprises, de très-considérables, qui, après « s'être élancés de l'épais nuage de cendres, éclatèrent « en l'air comme des bombes de nos feux d'artifice, au « milieu desquelles on a placé des serpenteaux. La flamme « que ces globes projetaient dans tous les sens, au mo- « ment de leur explosion, se mouvait toujours en « zigzag. »

Je pourrais citer encore un grand nombre d'autres exemples semblables ; mais je me bornerai à quelques faits remarquables : les globes lumineux laissent quelquefois le long de leur passage, des parcelles enflammées que l'on compare à celles qui accompagnent les fusées d'artifice.

Schübler fait mention effectivement d'éclairs qu'il a observés, qui avaient l'apparence d'un courant de feu, gros comme le bras, mais terminé par une boule plus large et plus brillante.

Ces boules de feu se divisent parfois. Quelque temps après l'entrée de Philippe V à Madrid, la foudre tomba sur le palais; les personnes réunies dans la chapelle royale y virent entrer deux boules de feu; l'une d'elles se divisa en plusieurs autres qui, avant de se dissiper, bondirent à plusieurs reprises comme des balles élastiques.

En 1772, pendant un orage, on vit à Steeple-Aston (Wiltshire) un globe de feu osciller dans les airs. « Les « révérends MM. Wainhouse et Pitcairn, qui se trouvaient « dans une pièce du presbytère, virent tout à coup à la « hauteur de leur figure, et à environ un pied de dis-

« tance, un globe de feu, de la grosseur du poing; ce « globe était entouré d'une fumée noire. En éclatant, il « fit un bruit comparable à celui d'un grand nombre de « pièces de canon qui partiraient à la fois; une vapeur « fortement sulfureuse se répandit aussitôt après dans « toute la maison; Pitcairn était dangereusement blessé; « son corps, ses habits, ses souliers, sa montre, présen- « taient tous les signes qu'amène un coup de foudre « ordinaire. Des lumières de différentes couleurs rem- « plissaient l'appartement et éprouvaient les plus vifs « mouvements d'oscillation. »

Les globes de feu, dont nous parlons, en raison des diverses circonstances qui accompagnent leur apparition et leur explosion, ne doivent pas être considérés comme des effets électriques ordinaires. Leur nature nous étant inconnue, et même ignorant jusqu'à quel point ils renferment de la matière pondérable, nous devons nous borner à les décrire comme un des effets des orages, sans chercher à remonter à la cause qui les produit.

§ III. *Procédé pour apprécier la durée d'un éclair de la première ou de la seconde classe.*

1604. Voyons s'il est possible d'évaluer la vitesse des éclairs des deux premières classes : M. Arago a indiqué pour résoudre cette question un procédé que je vais décrire.

On sait que lorsqu'un charbon allumé décrit une circonférence de cercle en $\frac{1}{10}$ de seconde, on voit une circonférence de lumière, dans laquelle l'œil le plus attentif ne découvre aucune solution de continuité. Le charbon paraît donc occuper simultanément tous les points de la courbe, de telle sorte qu'un point revient à la place qu'il a quittée au bout de dix secondes. Il résulte évidemment de là, que la sensation perçue par la rétine ne s'évanouit que $\frac{1}{10}$ de seconde après la disparition complète de la cause qui l'a produite. Suppo-

sons maintenant qu'une série continue de points lumineux, placés en ligne droite les uns à la suite des autres, entre le premier point et le centre de rotation, tourne avec la même vitesse de $\frac{1}{10}$ de seconde, on aura autant de circonférences de cercles lumineux concentriques qu'il y a de points, et par conséquent une surface circulaire qui paraîtra entièrement éclairée à l'œil de l'observateur. M. Arago applique de la manière suivante ce principe à la détermination de la durée d'un éclair pendant une nuit obscure : « J'établis, dit-il, une roue en mé-
« tal, portant cent rais déliés; un mouvement d'horlogerie
« lui donne la vitesse continue et régulière de dix tours
« par seconde, ou d'un tour entier par dixième de se-
« conde. Je me place en observation entre la roue et les
« nuées orageuses, de manière cependant à ne pas em-
« pêcher la lumière des éclairs d'arriver librement à la
« roue tournante. Cette roue, je ne l'aperçois pas or-
« dinairement, puisque, par hypothèse, tout est dans
« l'obscurité. Un éclair se montre; à cet instant la roue
« est éclairée; je dois donc la voir, et je la vois en effet,
« mais dans des conditions différentes, suivant la durée
« de l'éclair. L'éclair n'a-t-il brillé que pendant un
« temps infiniment court? la roue se sera montrée du-
« rant un dixième de seconde, comme cent rais lumi-
« neux, immobiles, et de la largeur apparente des rais
« véritables. L'éclair a-t-il duré $\frac{1}{1000}$ de seconde? la
« roue aura semblé être un cercle plein de lumière,
« du centre à la circonférence.

« A des durées de l'éclair de $\frac{1}{1000}$ de seconde, d'un
« tiers, d'un quart, etc., correspondront des apparences
« circulaires, où il y aura respectivement un demi, deux
« tiers, trois quarts, etc., de la surface totale du cercle
« complétement privés de lumière.

« En faisant la roue tournante de plus en plus grande,
« l'échelle superficielle des mesures deviendra tout aussi
« appréciable qu'on le désirera. Ajoutons, qu'en variant
« la vitesse de rotation, on peut même se soustraire à
« la nécessité d'évaluer à l'œil le rapport de la partie

« éclairée à la partie obscure; qu'on peut tout réduire « à la détermination de la vitesse, sous laquelle le cercle « paraît entièrement éclairé. Une vitesse de la roue de « $\frac{1}{10}$ de seconde par tour ne donne-t-elle pas lieu à un cer- « cle continu de lumière? on augmente graduellement « cette vitesse, de manière qu'enfin le cercle continu ap- « paraisse. Si cet effet ne commence à se réaliser qu'au « moment où la vitesse de la roue est d'un tour par un « demi, ou par un tiers de dixième de seconde, ce sera « la preuve que l'éclair n'aura eu qu'une durée d'un « demi, ou d'un tiers de millième de seconde, et ainsi « de même pour tous les autres nombres qu'on pourrait « trouver. »

Or, en multipliant autant que possible les rais de la roue, et ayant recours aux plus grandes vitesses, jamais la roue tournante, présentée aux éclairs des deux premières classes dans les temps d'orage, n'a paru une surface continue; ses rais se voyaient aussi distinctement que si la roue était en repos. On peut donc dire, sans craindre d'être en deçà de la vérité, que les éclairs des deux premières classes n'ont pas une durée égale à la millième partie d'une seconde de temps.

§ IV. *Des nuages orageux qui sont constamment lumineux.*

1605. Jusqu'ici il n'a été question que d'éclairs ou d'effets lumineux ayant une durée excessivement petite, ou seulement de quelques secondes. Nous allons voir maintenant qu'il peut exister des nuages orageux qui sont lumineux d'une manière continue.

Dans un mémoire de Rozier, on trouve le fait suivant : Le 15 août 1781, après le coucher du soleil, le ciel à Béziers se couvrit de nuages; à sept heures trois quarts le tonnerre commença à se faire entendre. A huit heures cinq minutes il était complétement nuit, et

l'orage avait acquis une très-grande intensité : « C'est « à ce moment, dit Rozier, qu'en examinant la direc- « tion et l'effet des éclairs, j'aperçus derrière le pen- « chant de la colline qui, d'un côté, termine la vue de « ma maison, un point lumineux..... Ce point lumineux « ayant acquis peu à peu du volume et de l'étendue, il « forma insensiblement une zone, une bande phospho- « rique, qui se montrait à mes yeux sur une hauteur « de trois pieds ; elle finit par sous-tendre à mon œil un « angle de 60°. Sur cette première zone lumineuse, il « s'en forma une seconde de la même hauteur, mais qui « n'avait que 30° d'étendue....., c'est-à-dire la moitié « de celle de la zone inférieure. Entre-deux resta un « vide dont la hauteur égalait celle d'une des deux « zones prises séparément. On remarquait dans l'une « comme dans l'autre zone, des irrégularités à peu « près comme sur les bords des gros nuages blancs, « avant-coureurs de l'orage. Ces bords n'étaient pas tous « également lumineux, quoique le centre des zones of- « frît une clarté lumineuse. Pendant le temps que les « zones avançaient vers l'est..... la foudre, à trois re- « prises différentes, s'élança de l'extrémité de la zone « inférieure, mais sans produire de détonation appré- « ciable. »

Béccaria a fait une observation qui a de l'analogie avec la précédente.

J'ajouterai que l'on a plusieurs exemples de brouillards lumineux à un très-haut degré.

Verdeil, médecin de Lausanne, nous apprend dans un mémoire, que le célèbre brouillard de 1783 répandit la nuit une lumière qui permettait de voir les objets à une certaine distance et qui s'étendait également sur tout l'horizon. Cette lumière ressemblait à celle de la lune, lorsque, étant dans son plein, cet astre se cache derrière un nuage épais, ou que le ciel est couvert.

Deluc, dans son ouvrage intitulé : *Idées sur la météorologie*, nous apprend que des nuages peuvent devenir

lumineux, sans qu'on ait trop le droit d'en chercher l'explication dans de petites fulgurations sans cesse renouvelées. Il est inutile de citer d'autres exemples pour prouver l'existence de nuages lumineux. Ne pouvant en donner une explication satisfaisante, nous devons nous borner à l'exposé des faits.

CHAPITRE II.

DU TONNERRE.

§ Ier. *Durée du roulement du tonnerre.*

1606. PARLONS maintenant du tonnerre, c'est-à-dire du bruit que fait entendre la foudre quand elle s'échappe des nuages. Quoique j'aie déjà traité cette question avec assez de détails, j'y reviens de nouveau pour ajouter à l'exposé que j'en ai présenté quelques développements nouveaux, pris dans l'article de M. Arago. Le bruit du tonnerre, comme nous l'avons dit, est ordinairement accompagné d'un roulement qui a de l'analogie avec le bruit que produit une lourde charrette qui descend rapidement dans un chemin très-rocailleux. Voyons d'abord ce que l'on a pu recueillir de certain sur la plus longue durée du roulement du tonnerre et correspondant à un seul éclair en pays de plaine.

On trouve dans un recueil d'observations faites à Paris par Delisle, à la date du 17 juin 1712, un tonnerre dont le roulement dura 45 secondes, d'autres roulements dans la même journée qui durèrent 41, 36, et 34 secondes. D'un autre côté, on sait que des coups de tonnerre qui partent à côté d'observateurs placés au milieu même des nuages orageux, engendrent des bruits sourds semblables à ceux d'une masse de poudre non comprimée qui s'enflamme en plein air; j'en ai déjà cité plusieurs exemples, aussi je me dispense d'en présenter d'autres ici.

Les boules fulminantes produisent quelquefois de très-violentes détonations, comme je l'ai déjà dit. Le vaisseau *le Montagu* se trouvait en pleine mer le 4 novembre 1749. Il fut frappé par une boule fulminante; le bruit qui se fit entendre, et dont la durée fut au plus d'une demi-seconde, fut comparé à celui de plusieurs centaines de canons partant tous à la fois. Cet exemple est caractéristique; passons outre.

Tout le monde sait qu'il s'écoule toujours un intervalle de quelques secondes entre l'apparition de l'éclair et le bruit du tonnerre. Lamberti, le célèbre géomètre, pensait que cet intervalle de temps ne s'élevait jamais à 40 secondes; mais on a des exemples qui vont au delà: des observations faites à Paris, le 2 mai 1712, ont donné 42 et 48 secondes; celles du 6 juin, 47, 48 et 49 secondes. Le 30 avril, l'intervalle a été de 72 secondes.

§ II. *De diverses questions relatives aux rapports des éclairs avec le tonnerre.*

1607. Les éclairs sans tonnerre, par un ciel serein, dans les belles nuits d'été, sont généralement connus; on les désigne dans le monde sous le nom d'éclairs de chaleur; ils éclairent quelquefois toute l'étendue du ciel visible.

On a observé aussi, par un temps couvert, des éclairs sans tonnerre. Lucrèce en fait mention dans le sixième livre de son poëme *de Naturâ rerum*. Il dit que d'innocents éclairs s'échappent en silence de certains nuages, et qu'ils ne causent ni trouble, ni terreur.

Les éclairs sans tonnerre, par un temps serein, paraissent être communs aux Antilles, au rapport de Chanvalon.

On trouve dans les mémoires de l'Académie de Lisbonne des observations faites à Rio-Janeiro, par Dorta, qui ne laissent aucun doute sur l'existence de ces éclairs.

En Europe, on a fait également des observations sur la production d'éclairs sans tonnerre.

Le P. Loseran de Fesc, dans une dissertation sur le tonnerre, couronnée en 1726 par l'académie de Bordeaux, parle d'éclairs extrêmement vifs qui, pendant certains orages, s'élancent des nuages dans tous les sens et presque sans interruption, sans donner lieu à aucun bruit appréciable.

Deluc le jeune, dans la soirée du 1er août 1791, en observant des nuages venant du Jura et s'étendant par degrés jusqu'au zénith de Genève, a vu s'élancer des éclairs qui semblaient devoir être accompagnés d'un bruit étourdissant, et cependant on n'en entendit presque point. Un de ces éclairs fut accompagné au contraire d'un bruit épouvantable; une courte ondée le suivit : les éclairs continuèrent à briller, mais sans bruit.

1608. D'un autre côté, on s'est demandé si le tonnerre se faisait entendre quelquefois sans éclairs. Sénèque a répondu affirmativement à cette question. Quoi qu'il en soit, les météorologistes n'ont consigné dans leurs registres aucune observation relative à ce phénomène; cependant on ne peut élever aucun doute sur son existence, comme le prouvent les assertions suivantes :

Thibault de Chanvalon, sous la date d'octobre 1751, consignait à la Martinique, dans son registre d'observations météorologiques, ce qui suit : « De huit jours « qu'il a tonné, dans ce mois, il y en a eu deux sans éclairs. « En novembre, tonnerre un seul jour; trois coups un « peu forts, mais sans éclairs. »

Le 19 mars 1768, près de Cosséir sur la mer Rouge, un violent coup de tonnerre jeta l'épouvante parmi les matelots de la petite barque sur laquelle le voyageur James Bruce s'était embarqué; ce coup de tonnerre n'avait été précédé d'aucun éclair.

On a entendu aussi plusieurs fois tonner par des temps sereins. Senebier en fait mention comme d'un fait avéré, mais sans apporter aucune preuve.

Volney dit positivement que le 13 juillet 1788, à six heures du matin, le ciel étant sans nuages, il entendit à Pontchartain quatre ou cinq coups de tonnerre. Ce ne

fut qu'à sept heures et un quart qu'un nuage parut au sud-ouest; en quelques minutes le ciel fut couvert: peu de temps après, il tombait des grêlons d'une grosseur démesurée.

Les citations précédentes suffisent pour prouver qu'il se produit des éclairs sans tonnerre, et qu'il tonne sans éclairs. Passons à d'autres faits.

§ III. *Des effets qui accompagnent la chute de la foudre.*

1609. Lorsque la foudre s'élance d'une nuée sur la terre, elle laisse souvent sur son passage de la fumée, et presque toujours une forte odeur que l'on a comparée à celle du soufre enflammé.

Wafer, chirurgien de Dampierre, raconte qu'en traversant l'isthme de Darien, les ondées qu'il recevait étaient accompagnées d'éclairs et de violents coups de tonnerre, et qu'alors l'air était infecté d'une odeur sulfureuse capable d'ôter la respiration, surtout au milieu des bois. Je pourrais citer mille autres exemples de ce genre.

La foudre, en traversant l'air atmosphérique, détermine la combinaison de l'oxigène avec l'azote, comme on le sait depuis longtemps, d'où résulte de l'acide nitrique, puis des nitrates de chaux et d'ammoniaque que l'on retrouve dans les eaux pluviales qui tombent dans les temps d'orage; sur la terre, elle casse, brise, enflamme et fond les corps, selon qu'ils sont mauvais conducteurs, combustibles, métalliques ou fusibles. Lucrèce, Sénèque et Pline font également mention de ces propriétés de la foudre, que leur amour pour le merveilleux a un peu exagérées. Un des exemples les plus remarquables est ce coup de foudre qui fondit, dans toute son étendue, une chaîne de fer de 40 mètres de long en communication avec la mer par une de ses extrémités, et dont le diamètre des divers chaînons n'excédait pas 6 millimètres. Bien que les effets de fusion de la foudre soient bien con-

nus, et que j'en aie déjà rapporté un bon nombre d'exemples, je désire cependant en citer quelques-uns des plus remarquables; je les trouve dans la notice de M. Arago.

Franklin reconnut sur sa propre maison de Philadelphie, en 1787, que la foudre y avait fondu une baguette conique de cuivre de 24 centimètres de long, et de 8 millimètres de diamètre à la base. Cette baguette surmontait une grosse barre de fer qui se prolongeait depuis le toit jusqu'au sol humide.

Un coup de foudre que reçut le paquebot de New-York, le 19 avril 1827, dans sa traversée d'Amérique à Liverpool, fondit un tuyau de plomb de 8 centimètres de diamètre et de 13 millimètres d'épaisseur; ce tuyau allait du cabinet de toilette à la mer, à travers les flancs du navire.

Je pourrais citer encore d'autres exemples de fusion qui n'ajouteraient rien à nos connaissances; mais je préfère rapporter des effets d'un autre genre.

1610. Quand la foudre traverse des fils métalliques qu'elle ne peut fondre, elle les raccourcit, comme le fait l'électricité ordinaire. Le 18 juin 1782, la foudre étant tombée à Stoke Newington, dans la maison de M. Parker, après avoir parcouru un tuyau de conduite pour les eaux pluviales, suivit un fil métallique, à l'aide duquel une personne pouvait, sans sortir de son lit, ouvrir et fermer une porte de sûreté; après le passage de la foudre, qui n'avait parcouru que quinze pieds, on reconnut que ce fil s'était raccourci de plusieurs pouces.

Des substances terreuses vitrifiables sont fondues par la foudre; j'en ai déjà cité plusieurs exemples (1). Les tubes fulminaires doivent leur production à une cause semblable (2).

1611. La foudre perce quelquefois de plusieurs trous les corps qu'elle frappe; en voici quelques exemples : En

(1) Tom. IV, p. 138.
(2) Ibid., p. 137.

1778, dans l'automne, le tonnerre tomba sur la maison de l'ingénieur Caselli, à Alexandrie; il ne fit de dégât appréciable que sur les vitres d'une fenêtre. Ces vitres étaient percées de plusieurs trous de deux lignes environ de diamètre, sans être fendues d'un bord à l'autre.

Le 3 juillet 1821, la foudre, en tombant à Genève sur une maison située près du temple de Saint-Gervais, perça de plusieurs trous, en laissant des marques de fusion, des feuilles de fer-blanc dont l'arête inclinée du toit était revêtue.

La foudre ne se borne pas à brûler les corps combustibles, à fondre les métaux et les matières vitrifiables, à les perforer tous, elle transporte encore au loin des masses considérables.

Dans la nuit du 14 au 15 avril 1718, un coup de tonnerre fit sauter le toit et les murailles de Gouesnon près de Brest, comme aurait fait une mine; des pierres furent lancées dans tous les sens jusqu'à une distance de 51 mètres.

Le 6 août 1809, à Swinton, à 5 milles de Manchester, le tonnerre en tombant sur la maison de M. Chadwick, produisit des effets mécaniques des plus remarquables. Après des roulements répétés d'un tonnerre éloigné et qui semblait s'approcher, on entendit une explosion épouvantable, qui fut immédiatement suivie de torrents de pluie. Pendant quelques minutes la maison fut entourée d'une vapeur sulfureuse; un mur en briques, de trois pieds d'épaisseur et de onze pieds de hauteur, fut arraché de ses fondations et soulevé en masse; l'explosion le transporta verticalement, sans le renverser, à quelque distance de là; l'une des extrémités avait avancé de 9 pieds, l'autre de 4. Ce mur pouvait peser 26 tonnes, environ 26,000 kilogr. (1).

1612. La foudre, comme je l'ai déjà dit, en passant près d'une aiguille d'une boussole, en altère le magné-

(1) Mém. de Manchester, tom. IX, 2e série.

tisme, le détruit entièrement, ou en renverse les pôles. Elle modifie l'état magnétique des pièces ou instruments en acier, dans le voisinage desquels elle passe. Ces effets sont tellement connus que je me crois dispensé d'en citer ici des exemples.

1613. La foudre, dans sa course rapide, obéit à l'action des corps près desquels elle passe. J'en prendrai la preuve dans la relation adressée, en juillet 1764, à l'abbé Nollet, par le comte de Latour-Landry, concernant le coup de tonnerre qui frappa l'église d'Antrasme, près de Laval, et dans laquelle on trouvera des détails relatifs à ce sujet :

Le 29 juin 1763, la foudre tomba sur le clocher d'Antrasme; elle pénétra dans l'église, fondit ou noircit les dorures des cadres et des contours de certaines niches; elle laissa noircies et demi-grillées des burettes d'étain placées sur une petite armoire; enfin, elle perça de deux trous profonds, réguliers, comme ceux d'une tarière, la crédence peinte en marbre, contenue dans une niche en pierre de tufeau.

Tous ces dégâts ayant été réparés le 20 juin 1764, le tonnerre tomba sur le même clocher; il passa de là dans la même église, où il noircit les dorures qui avaient été noircies en 1763, et précisément au même degré, où il fondit celles qu'il avait fondues, juste dans les mêmes limites; les deux burettes éprouvèrent les mêmes altérations que l'année d'auparavant, et les deux trous, qui avaient été bouchés et repeints, furent débouchés de nouveau.

On conçoit parfaitement que la foudre, qui n'est autre qu'une forte décharge électrique, se porte de préférence sur les métaux lorsqu'il s'en trouve de cachés ou de découverts dans le voisinage des lieux qu'elle frappe. Tant qu'elle parcourt des corps métalliques, assez gros pour n'être pas fondus, elle ne leur fait éprouver aucun changement apparent; ce n'est que lorsqu'ils sont en fils, que cet effet a lieu; elle produit encore des dégâts notables à son entrée dans des masses métalliques, ou à sa

sortie. C'est un fait qui est tellement notoire, que je ne dois pas en apporter ici des preuves.

Je ferai observer seulement que la foudre se détourne fréquemment de sa route primitive pour aller frapper des masses métalliques placées derrière de gros blocs de maçonnerie.

« Dans la nuit du 17 au 18 juillet 1767, la foudre « tomba à Paris, sur une maison de la rue Plumet, dont « elle parcourut toutes les parties. Des cadres dorés qui « se trouvaient dans une chambre furent atteints, tandis « que ceux qui ne l'étaient pas furent préservés. Une « lanterne de fer-blanc et deux bouteilles de verre très- « mince se trouvaient sur la même table; la lanterne fut « démolie et pareillement fondue, tandis que les bou- « teilles restèrent intactes.

« Une caisse en bois, qui renfermait beaucoup d'us- « tensiles, fut brisée par la foudre, qui laissa des traces « de fusion sur les ustensiles, et n'alluma pas une demi- « livre de poudre à canon, renfermée dans une poire « ouverte, placée au milieu de toutes ces pièces métal- « liques. »

« En 1759, le détachement qui conduisait du Fort- « Royal à Saint-Pierre le capitaine anglais Dibdeu, « prisonnier de guerre à la Martinique, s'arrêta, pour « se garantir de la pluie, au pied du mur d'une petite « chapelle, qui n'avait ni tour, ni clocher. Un violent « coup de tonnerre le surprit dans cette position et tua « deux soldats. Du même coup, la foudre fit dans le « mur, derrière les deux victimes, une ouverture d'en- « viron 4 pieds de haut et de 3 pieds de large. Toute « vérification faite, il se trouva qu'à la portion du mur « démolie, sur laquelle les deux soldats s'appuyaient, « correspondait exactement à l'intérieur de la chapelle, « un ensemble de barres de fer massives, destinées à « supporter un tombeau. Ceux qui n'eurent pas le « malheur de s'être ainsi placés fortuitement devant des « pièces métalliques, n'éprouvèrent aucun mal. »

En général, la foudre se porte en grande quantité

sur les métaux qui sont à peu de distance de son trajet; lors même qu'ils sont recouverts par d'épaisses masses de pierre ou de bois, elle brise et projette au loin ces masses, de manière à mettre les métaux à découvert.

§ IV. *De quelques signes précurseurs des orages, non mentionnés.*

1614. J'ai déjà parlé de quelques signes précurseurs des orages, en voici d'autres qui sont relatifs aux grandes perturbations que l'on observe quelquefois simultanément dans les entrailles de la terre, à la surface ou au sein des eaux.

Davini a observé, près de Modène, une fontaine dont les eaux, toujours limpides, se troublaient quand le ciel se couvrait. Villisneri, auquel il mandait ce fait, ne le révoquait pas en doute; il citait à l'appui de cette observation que les salses de Zibio, de Querzola, de Cassola, etc., du même duché de Modène, ainsi que les solfatares, annoncent un orage avant qu'il soit formé, par des signes auxquels on ne peut se méprendre, tels qu'une certaine espèce d'ébullition, des bruits semblables à ceux du tonnerre, et quelquefois de véritables coups fulminants.

Toaldo cite des phénomènes semblables dont il a été témoin dans les collines du Vicentin, où il existe une fontaine qui, après une longue sécheresse et aux époques où elle est ordinairement très-basse, déborde à l'approche d'un orage.

Nous voyons dans le journal de Brugnatelli, que le 19 juillet 1824, à la suite d'un orage, les eaux du lac Massaciuccoli, dans le territoire de Lucques, devinrent blanches comme si l'on y avait fait dissoudre une grande quantité de savon; cet état durait encore le lendemain. Beaucoup de poissons, grands et petits, furent trouvés morts sur le rivage. Il est probable, comme l'avance M. Arago, que ces effets furent dus à une émanation souterraine qui, pendant l'orage du 19, se faisait jour à travers le fond vaseux du lac.

On peut citer encore des inondations locales à la suite d'orages, et qui ne peuvent être attribuées seulement aux eaux pluviales; je pourrais en rapporter un grand nombre d'exemples; mais je me bornerai aux deux suivants:

Beccaria dit qu'en octobre 1755, une inondation subite produisit d'immenses ravages dans la plupart des vallées du Piémont; le Pô déborda. Le désastre fut précédé d'épouvantables tonnerres. Tout le monde fut d'accord que la cause principale de ce phénomène était due à l'immense volume d'eau souterraine, qui tout à coup, pendant l'orage, sortit du sein des montagnes par de nouvelles ouvertures.

Ces ruptures locales de l'écorce solide du globe n'auraient rien d'extraordinaire, dit M. Arago, s'il était prouvé que dans des temps orageux l'eau tend à se réunir aux nuages, et que cette tendance se manifeste par des intumescences prononcées. Les observations faites à bord du paquebot *le New-York*, en avril 1827, viennent à l'appui de cette assertion : pendant que l'orage grondait autour du vaisseau, la mer était dans un bouillonnement continuel qui pouvait faire croire à l'existence de volcans sous-marins. On apercevait particulièrement trois colonnes d'eau qui s'élançaient dans les airs, qui retombaient en écumant, puis s'élevaient de nouveau, pour retomber encore.

Dans une des sources d'eau minérale du mont d'Or, en Auvergne, l'eau sortant de terre jaillit en bouillonnant; au dire des habitants de la vallée, et même du docteur Bertrand, cet effet augmente considérablement dans les temps orageux.

M. Berzelius croit avoir remarqué que des flacons bien bouchés, contenant de l'eau chargée d'acide carbonique, éclatent beaucoup plus fréquemment que d'habitude pendant les orages; il s'agirait d'examiner si les vibrations imprimées au verre par les détonations de la foudre ou les variations de température n'exercent pas quelque influence sur ce phénomène.

Il arrive quelquefois encore que les orages placent la

partie solide du globe dans un état exceptionnel qui se manifeste par des détonations foudroyantes, lesquelles, sans aucune apparence lumineuse, produisent cependant les mêmes effets que la foudre proprement dite.

M. Brydone rapporte le fait suivant, qui justifie pleinement les effets que je viens de rapporter : le 19 juillet 1785, entre midi et une heure, il éclata un orage dans le voisinage de Coldstream, qui produisit les effets suivants :

Une femme qui coupait du foin près des rives de la Tweed, tomba à la renverse. Elle appela sur-le-champ ses compagnons et leur dit qu'elle venait de recevoir sous son pied, et sans pouvoir dire de quelle manière, le coup le plus violent. En ce moment il n'y avait dans le ciel ni éclairs ni tonnerre.

Le berger de la ferme de Lennel-hill vit tomber, à quelques pas de lui, un mouton qui, peu de moments auparavant, paraissait en parfaite santé; il courut pour le relever, mais il le trouva roide mort. L'orage paraissait alors être très-éloigné.

Deux tombereaux chargés de terre étaient conduits chacun par un jeune cocher, assis en avant sur un petit siége; ils venaient l'un et l'autre de traverser la Tweed, ils achevaient de gravir une montée voisine des bords de cette rivière, lorsqu'on entendit à la ronde une forte détonation semblable à celle qui serait résultée de la décharge à peu près simultanée de plusieurs fusils, mais sans aucun roulement. Au même instant le cocher du tombereau de derrière vit le tombereau de devant, les deux chevaux et son camarade tomber à terre. Le cocher et les chevaux étaient roides morts.

Or, si l'on remarque 1° que le bois du tombereau avait été fortement endommagé, là où il existait particulièrement des clous et des crampons de fer; 2° que le sol était percé de deux trous circulaires à l'endroit même où les roues se trouvaient quand l'accident arriva; qu'une demi-heure après l'événement, ces deux trous émettaient encore une odeur, que M. Brydone compara à

celle de l'éther; 3° que les deux bandes circulaires en fer, qui recouvraient les deux jantes, offraient évidemment des marques de fusion dans les deux parties qui reposaient sur la terre au moment de la détonation, et nulle autre part; 4° que le poil des chevaux avait été brûlé, particulièrement aux jambes et sous le ventre; que le corps du malheureux cocher présentait çà et là des marques de brûlures; on attribuera, suivant moi, tous ces effets à une action de choc en retour, qui se fait sentir souvent à une distance assez éloignée du lieu où l'orage gronde.

Un orage atmosphérique exerce quelquefois sur le globe une influence telle qu'il en résulte de brillants et de larges phénomènes de lumière, dont la terre est d'abord le siége, et qui disparaissent à la suite d'une explosion, soit dans le lieu même où ils ont pris naissance, soit après un déplacement plus ou moins rapide. Au nombre des causes qui peuvent produire ces phénomènes, on peut ranger l'action par influence exercée sur la terre par l'électricité atmosphérique. Au surplus, laissons parler les faits.

Maffei rapporte, dans une lettre à Wallisnieri, sous la date du 10 septembre 1713, qu'au château de Fosdinovo, dans le territoire de Massa-Carrara, pendant un orage et une pluie très-abondante, il fut reçu par la maîtresse du château, dans une salle du rez-de-chaussée; que là il vit, ainsi que le marquis Malaspina, apparaître subitement, à la surface du pavé, un feu très-vif, d'une lumière en partie blanche et en partie azurée; que ce feu paraissait fortement agité, mais sans mouvement progressif; qu'il se dissipa comme il était venu, c'est-à-dire, rapidement, mais après avoir acquis un grand volume.

Maffei sentit, en ce dernier moment, derrière les épaules, du bas en haut, un chatouillement particulier. Des plâtres, détachés de la voûte de la salle, tombèrent sur sa tête, et il entendit un craquement, un bruit différent de celui du tonnerre.

Voici encore un autre fait du même genre, qui n'est pas sans importance, et qu'on trouve consigné dans *l'Histoire naturelle de l'air et des météores*, t. VIII, pag. 291 :

« Le 2 juillet 1750 (c'est l'auteur de l'ouvrage qui « parle), me trouvant à trois heures après midi, pendant « un orage, dans l'église de Saint-Michel de Dijon, je « vis tout à coup paraître, entre les deux piliers de la « grande nef, une flamme d'un rouge assez ardent, qui « se soutenait en l'air à trois pieds du pavé de l'église. « Cette flamme s'éleva ensuite à la hauteur de douze à « quinze pieds en augmentant de volume. Après avoir « parcouru quelques toises, en continuant de s'élever en « diagonale, à la hauteur à peu près du buffet de l'or- « gue, elle finit en se dilatant par un bruit semblable à « celui d'un canon que l'on aurait tiré dans l'église « même. »

Le fait suivant prouve que, par l'influence d'un orage, des flammes peuvent sortir du sein des eaux :

Dans la nuit du 4 au 5 septembre 1767, pendant un violent orage, le fermier d'un étang, près de Parthenay en Poitou, le vit couvert, dans toute son étendue, d'une flamme si épaisse qu'elle lui dérobait la vue de l'eau.

Je citerai un fait d'autant plus remarquable qu'il prouve que la lumière des météores dont nous parlons n'est pas toujours de nature électrique. Ce fait a été rapporté à M. Arago par le docteur Robinson d'Armagh.

« Le major Sabine et le capitaine James Ross reve- « naient, en automne, de leur expédition arctique; ils « étaient encore dans les mers du Groënland pendant « une des nuits si sombres de ces régions, quand ils fu- « rent appelés sur le pont par l'officier de quart, qui ve- « nait d'apercevoir quelque chose d'étrange. C'était, en « avant du navire et précisément dans la direction qu'il « suivait, une lumière stationnaire sur la mer et s'éle- « vant à une grande hauteur, pendant que partout « ailleurs le ciel et l'horizon paraissaient noirs comme « de la poix. Il n'y avait dans ces parages aucun danger

« connu ; la route ne fut donc pas changée. Lorsque « le navire pénétra dans la région lumineuse, tout « l'équipage était silencieux, attentif, en proie à une « vive préoccupation ; aussitôt on aperçut aisément les « parties les plus élevées des mâts, des voiles, et tous les « cordages : le météore pouvait avoir une étendue de 400 « mètres. Lorsque la partie antérieure du navire en sortit, « elle se trouva subitement dans l'obscurité. Aucun affai- « blissement graduel ne se fit remarquer ; on s'était déjà « fort éloigné de la région lumineuse, qu'elle se voyait « encore de l'arrière du navire. »

Nous devons nous borner à rapporter le fait tel qu'il est décrit, sans chercher à l'expliquer, car la cause nous en paraît inconnue.

Des phénomènes, dont je viens de parler, on en a conclu qu'il part quelquefois subitement de la terre des éclairs foudroyants qui vont rejoindre des nuages. Il n'y a rien d'impossible dans cette assertion ; il suffit pour cela que la tension électrique de la terre soit plus considérable que celle des nuages, puisque les recherches de MM. Faraday, Wheastone, etc., établissent que, lorsque deux corps électrisés différemment sont en présence, l'électricité part toujours du corps qui possède la plus forte tension.

Outre les phénomènes lumineux, larges et détonants, qui apparaissent à la surface de la terre dans les temps d'orage, on observe encore des lumières vives et légèrement sifflantes aux parties aiguës et saillantes des corps, qui paraissent être de même nature que celles qui se forment à l'extrémité des pointes placées dans la sphère d'activité d'un corps électrisé. J'ai déjà cité dans cet ouvrage plusieurs effets de ce genre, qui suffisent pour donner une idée nette du phénomène.

Lorsque les nuages sont fortement électrisés, les gouttes de pluie, les flocons de neige qui en proviennent, produisent de la lumière en arrivant à terre.

Dom Hallai écrivait à Mairan : « Le 3 juin 1731, au « soir, pendant des tonnerres extraordinaires, il tombait

« de toutes parts comme des gouttes de métal fondu et « embrasé. »

Bergmann, en 1761, écrivait à la Société royale de Londres : « J'ai observé deux fois, vers le soir, sans qu'il « tonnât, une pluie telle qu'à son contact tout scintil- « lait, et que la terre semblait couverte d'ondes enflam- « mées. » Il dit aussi avoir observé le même phénomène pendant la chute de la neige.

Le 28 octobre 1772, sur la route de Brignai à Lyon, l'abbé Bertholon fut surpris par un orage, vers les cinq heures du matin. Il tombait de la grêle en très-grande abondance. Les gouttes de pluie et les grêlons qui rencontraient dans leur chute les parties métalliques de la selle du cheval que montait M. Bertholon, produisaient à l'instant même des jets lumineux.

Ce n'est pas tout, on a observé des pluies de poussière lumineuse.

Pendant l'éruption du Vésuve, de 1794, il tombait sur la ville de Naples une poussière fine comme du tabac d'Espagne, et qui émettait une lueur phosphorique pâle, mais bien visible la nuit. Cette poussière, en s'attachant aux chapeaux, répandait une lueur sensible.

Tous ces phénomènes ont une cause tellement connue, que je crois inutile de m'y arrêter.

§ V. *Des causes locales qui influent sur la production des orages, et de la géographie des orages.*

1615. Il y a une foule de questions relatives à l'électricité atmosphérique qui intéressent la physique du globe; on doit mettre au rang des plus importantes celles qui concernent la géographie des orages.

On se demande depuis longtemps s'il existe des lieux où il ne tonne jamais.

Pline dit (1) qu'il ne tonne pas en Égypte.

---

(1) Histoire naturelle, liv. II, § LII.

Aujourd'hui on sait qu'il tonne souvent à Alexandrie, et trois ou quatre fois par an au Caire. Si l'assertion de Pline est exacte, il s'est donc opéré un changement dans l'état climatérique de l'Égypte.

Il n'existe pas un seul point dans les régions chaudes ou tempérées de l'ancien continent où il ne tonne; mais il n'en est pas de même en Amérique.

Les habitants de Lima (Pérou) qui n'ont jamais voyagé n'ont aucune idée du tonnerre ni des éclairs.

Dans les régions polaires, voici ce que nous ont appris les voyageurs :

Dans les mers du Spitzberg, le capitaine Philipps, en 1773, de la fin de juin à la fin d'août, n'entendit pas un seul coup de tonnerre, et ne vit pas un seul éclair.

Le capitaine Scoresby, dans ses nombreux voyages, n'a aperçu d'éclairs au delà du 65ᵉ degré de latitude que deux fois, et croit qu'on n'a jamais vu éclairer au Spitzberg.

Le capitaine Parry, dans son voyage, en 1827, pour atteindre le pôle nord, qui dura du 25 juin au 10 août, n'entendit jamais de tonnerre et ne vit point d'éclairs entre 81° 15′ et 82° 44′ de latitude.

Ces faits, et d'autres que je pourrais citer encore, tendent à prouver qu'en pleine mer ou dans les îles il ne tonne jamais au delà du 75° de latitude nord.

Les observations du capitaine Parry tendent aussi à prouver que l'absence des orages a encore lieu dans des régions situées fort avant dans les continents. En effet, suivant les tableaux météorologiques de son premier voyage à la baie de Baffin, au détroit de Barrow, et à l'île de Melville, commencés en juin 1819 et terminés en septembre 1820 inclus, on n'a entendu tonner qu'une seule fois, sans éclairs, entre 70 et 75° de latitude nord.

On observe encore qu'il tonne très-rarement un peu en deçà du 70ᵉ parallèle de latitude.

Dans les tableaux météorologiques du second voyage du même officier à la baie de Baffin, embrassant l'intervalle compris entre le 1ᵉʳ juin 1821 et le 30 septembre

1823, on ne trouve non plus qu'une seule indication de quelques éclairs et de quelques coups de tonnerre, sous la date du 7 août 1821, et cela par des latitudes un peu inférieures à 70°.

Au fort Franklin, latitude 67° $\frac{1}{2}$ nord, longitude 123° $\frac{1}{5}$ ouest de Greenwich, du commencement de septembre 1825 à la fin de 1826, le capitaine Franklin n'a entendu le tonnerre qu'un seul jour, le 29 mai 1826.

On dit que l'Islande est un pays où il ne tonne jamais. Voici ce que l'on sait de certain à cet égard : M. Thortensen, médecin dans cette île, a adressé à M. Arago des observations météorologiques faites à Reikiaw'k, sous la latitude 65°, depuis le 21 septembre 1833 jusqu'au 30 août 1835; on ne trouve, en effet, qu'un seul jour où l'on a entendu le tonnerre, c'est le 30 novembre 1833.

1616. Après avoir indiqué rapidement quelques-unes des parties du globe où il ne tonne jamais, et celles où il tonne rarement, passons aux lieux où il tonne le plus.

Nous avons vu précédemment un pays, dans le bas Pérou, situé dans les régions équinoxiales, où il ne tonne jamais en moyenne; c'est cependant la région du globe où les orages sont les plus fréquents. On en a la preuve si on jette les yeux sur le tableau numérique que M. Arago a dressé pour faire connaître le nombre moyen annuel des jours de tonnerre dans diverses localités des quatre parties du monde. On y trouve, en effet, qu'en Allemagne, qu'en France et en Angleterre, ce nombre moyen s'élève rarement à trente, tandis qu'à Rio-Janeiro et dans l'Inde, on en trouve au delà de cinquante.

J'ai pensé que le lecteur verrait ici avec intérêt le tableau dont je viens de parler, et qui servira à nous faire connaître en même temps la distribution géographique des orages, quant à leur fréquence.

CALCUTTA (lat. 22° 1/2 N.; longit. 86° E.)..... 60.

UNE SEULE ANNÉE D'OBSERVATIONS, L'ANNÉE 1785.

Répartition des 60 jours de tonnerre.

Janvier.....	0;	Février.....	4;	Mars.....	6;
Avril.....	5;	Mai.....	7;	Juin.....	8;
Juillet.....	6;	Août.....	10;	Septembre.....	9;
Octobre.....	5;	Novembre.....	0;	Décembre.....	0.

PATNA (dans l'Inde) (latit. 25° 37′ N.)..... 53.

UNE SEULE ANNÉE D'OBSERVATIONS DE M. LIND.

Ces 53 jours de tonnerre ont été renfermés entre mai et décembre inclusivement.

RIO-JANEIRO (latit. 23° S.; longit. 45° 1/2 O.).. 50,7.

6 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE M. DORTA (DE 1782 à 1787).

EXTRÊMES..... 38 EN 1786 ET 77 EN 1782.

Répartition par mois de ces 50,7 orages annuels.

Janvier.....	10,2;	Février.....	9,3;	Mars.....	4,0;
Avril.....	1,7;	Mai.....	0,8;	Juin.....	0,7;
Juillet.....	1,3;	Août.....	1,1;	Septembre....	2,8;
Octobre.....	3,7;	Novembre....	6,0;	Décembre....	9,0.

MARYLAND (États-Unis) (latit. 39° N.; longit. 79° O.). 41.

UNE SEULE ANNÉE D'OBSERVATIONS DE M. RICHARD BROOKE.

Janvier.....	0;	Février.....	0;	Mars.....	5;
Avril.....	1;	Mai.....	10;	Juin.....	8;
Juillet.....	11;	Août.....	5;	Septembre.....	0;
Octobre.....	1;	Novembre.....	0;	Décembre.....	0.

ILE DE LA MARTINIQUE (lat. 14° 1/2 N.; long. 63° 1/2 O.). 39.

Il ne tonne jamais à la Martinique pendant les mois de janvier, février, mars et décembre. C'est en septembre qu'il tonne le plus souvent.

ABYSSINIE (latit. 13° N.; longit. 35° E.)..... 38.

UNE SEULE ANNÉE D'OBSERVATIONS DE BRUCE (1770).

Répartition par mois.

Janvier.....	0,0;	Février.....	0,0;	Mars.....	4,0;
Avril.....	4,0;	Mai.....	6,0;	Juin.....	7,0;
Juillet.....	3,0;	Août.....	6,0;	Septembre.....	4,0;
Octobre.....	4,0;	Novembre.....	0,0;	Décembre.....	0,0.

ILE DE LA GUADELOUPE (lat. 16° 1/3 N.; long. 64° O.). 37.

Il ne tonne jamais dans cette île pendant les mois de janvier, février, mars et décembre.

Le mois de septembre est celui pendant lequel il tonne le plus souvent.

VIVIERS (Ardèche) (lat. 47° 1/2 N.; long. 2° 1/3 E.). 24,7.

10 ANNÉES, DE 1807 A 1816.

EXTRÊMES..... 14 EN 1814, 35 EN 1811.

Répartition par mois des 24,7 orages annuels.

Janvier.....	0,0;	Février.....	0,1;	Mars.....	0,6;
Avril.....	2,2;	Mai.....	4,0;	Juin.....	3,4;
Juillet.....	5,1;	Août.....	3,4;	Septembre.....	3,1;
Octobre.....	2,2;	Novembre.....	0,6;	Décembre.....	0,0.

QUÉBEC (Canada) (latit. 46° 3/4 N.; longit. 73° 1/2 O.). 23,3.

Janvier.....	0,0;	Février.....	0,0;	Mars.....	0,0;
Avril.....	0,6;	Mai.....	2,5;	Juin.....	5,5;
Juillet.....	8,0;	Août.....	5,0;	Septembre.....	1,0;
Octobre.....	0,5;	Novembre.....	0,1;	Décembre.....	0,1.

LACHAPELLE, près de Dieppe (lat. 50° N.; long. 1° 1/4 E.). 15,7.

18 ANNÉES D'OBSERVATIONS FAITES SOUS L'INSPECTION DE M. NELL DE BRÉAUTÉ, PAR M. RACINE.

EXTRÊMES... 6 EN 1820, 23 EN 1828.

Répartition par mois de ces 16 orages annuels.

Janvier ..... 0,2 ;	Février..... 0,2 ;	Mars ..... 0,5 ;
Avril..... 1,1 ;	Mai ..... 2,6 ;	Juin..... 3,2 ;
Juillet..... 2,3 ;	Août..... 1,8 ;	Septembre..... 1,3 ;
Octobre..... 0,7 ;	Novembre..... 0,8 ;	Décembre..... 1,0.

TOULOUSE (latit. 43° 1/2 N.; long. 1° O.)... 15,4.

7 ANNÉES D'OBSERVATIONS, DE 1784 A 1790.

EXTRÊMES..... 4 EN 1784, 24 EN 1788.

UTRECHT (Hollande) (lat. 52° N.; long. 2° 3/4 E.).. 15.

UN GRAND NOMBRE D'ANNÉES D'OBSERVATIONS CITÉES PAR MUSCHENBROECK.

EXTRÊMES... 5 EN 1740, 23 EN 1737.

TUBINGUE (lat. 48° 1/2 N.; long. 6° 3/4 E.)... 14,6.

9 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE KRAAFFT.

PARIS (lat. 48° 50′ N.; long. 0° »)..... 12,2 ;

12 ANNÉES, DE 1785 A 1803.

Répartition suivant les mois.

EXTRÊMES..... 7 EN 1796, 22 EN 1794.

Janvier... .... 0,1 ;	Février..... 0,1 ;	Mars ..... 0,2 ;
Avril..... 0,8 ;	Mai..... 1,8 ;	Juin..... 3,0 ;
Juillet..... 2,5 ;	Août..... 2,2 ,	Septembre..... 0,7 ;
Octobre..... 0,6 ;	Novembre..... 0,1 ;	Décembre..... 0,1.

10 ANNÉES, DE 1806 A 1815..... 14,9.

EXTRÊMES... 8 EN 1815, 25 EN 1811.

Janvier..... 0,0 ;	Février.., ... 0,3 ;	Mars..... 0,1 ;
Avril..... 0,5 ;	Mai..... 3,2 ;	Juin..... 3,1 ;
Juillet..... 2,7 ;	Août..... 2,4 ;	Septembre..... 1,5 ;
Octobre..... 0,7 ;	Novembre... . 0,1 ;	Décembre..... 0,3.

DE 1816 A 1825..... 13,2.

EXTRÊMES... 6 EN 1823, 22 EN 1822.

Janvier..... 0,1 ;	Février..... 0,0 ;	Mars..... 0,5 ;
Avril..... 1,9 ;	Mai..... 3,0 ;	Juin..... 2,8 ;
Juillet..... 2,1 ;	Août.. ..... 1,5 ;	Septembre..... 1,6 ;
Octobre..... 0,3 ;	Novembre..... 0,2 ;	Décembre..... 0,1 ;

DE 1826 A 1837..... 14,7.

EXTRÊMES... 8 EN 1831, 20 EN 1837.

Janvier..... 0,0 ;	Février..... 0,1 ;	Mars..... 0,3 ;
Avril..... 0,9 ;	Mai..... 3,1 ;	Juin..... 2,9 ;
Juillet..... .. 3,2 ;	Août.... ..... 2,2 ;	Septembre..... 1,2 ;
Octobre ..... 0,6 ;	Novembre..... 0,0 ;	Décembre..... 0,1.

MOYENNES DES QUATRE PÉRIODES.

DE 1785 A 1837..... 13,8.

Janvier..... 0,1 ;	Février..... 0,1 ;	Mars..... 0,3 ;
Avril..... 0,8 ;	Mai..... 2,7 ;	Juin..... 2.9 ;
Juillet..... 2,6 ;	Août..... 2,1 ;	Septembre..... 1,3 ;
Octobre..... 0,5 ;	Novembre..... 0,1 ;	Décembre..... 0,1.

BUENOS-AYRES (latit. 34° 1/2 S.; longit. 60° 3/4 O.).. 22,6.

7 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE M. MOSSOTTI.

Répartition suivant les mois.

Janvier.....	1,9 ;	Février.....	2,6 ;	Mars.	2,1 ;
Avril..... ...	1,8 ;	Mai.....	1,7 ;	Juin.....	1,1 ;
Juillet.....	1,3 ;	Août.....	1,0 ;	Septembre.....	2,9 ;
Octobre.....	2.3 ;	Novembre.....	1,8 ;	Décembre.....	2,0.

DENAINVILLIERS, près Pithiviers (Loiret) (lat. 48° N.; long. 0° »). ..... 20,6.

24 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE DUHAMEL (ENTRE 1755 ET 1780).

EXTRÊMES... 15 EN 1765, 32 EN 1769).

Répartition par mois, de 20,6 jours de tonnerre.

Janvier.....	0,1 ;	Février.....	0,1 ;	Mars.....	0,5 ;
Avril.....	1,6,	Mai.....	3,6 ;	Juin.....	4,5 ;
Juillet.....	4,4 ;	Août.....	3,5 ;	Septembre.....	1,5 ;
Octobre.....	0,5 ;	Novembre.....	0,3 ;	Décembre.....	0.0.

SMYRNE (latit. 38° 1/2 N.; longit. 24° 3/4 E..)... 19.

UNE SEULE ANNÉE D'OBSERVATIONS DE M. DE NERCIAT.

Répartition dans les différents mois.

Janvier.....	2,0 ;	Février.....	4,0 ;	Mars.....	4,0 ;
Avril..... ..	1,0 ;	Mai.....	1,0 ;	Juin.....	0,0 ;
Juillet.....	0,0 ;	Août.....	0,0 ;	Septembre.....	3,0 ;
Octobre.....	0,0 ;	Novembre.....	1,0 ;	Décembre.....	3,0.

BERLIN (latit. 52° 1/2 N.; longit. 11° E.)..... 18,4.

15 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE BÉGUELIN, DE 1770 A 1785.

EXTRÊMES ... 11 EN 1780, 30 EN 1783.

Répartition par mois des 18,4 orages annuels.

Janvier.....	0,0 ;	Février.....	0,0 ;	Mars.....	0,1 ;
Avril.....	0,6 ;	Mai.....	2,6 ;	Juin.....	3,9 ;
Juillet.....	4,2 ;	Août.....	5,3 ;	Septembre.....	1,3 ;
Octobre.....	0,1 ;	Novembre.....	0,1 ;	Décembre.....	0,1.

PADOUE (latit. 45° 1/3 N.; long. 9° 1/2 E.)... 17,5.

4 ANNÉES D'OBSERVATIONS, DE 1780 A 1783.

Répartition par mois de ces 17,5 jours de tonnerre.

Janvier.....	0,0 ;	Février.....	0,0 ;	Mars.....	1,2 ;
Avril...	2,2 ;	Mai...	1,2 ;	Juin.....	3,5 ;
Juillet.....	3,5 ;	Août.....	2,5 ;	Septembre. ...	0,7 ;
Octobre.....	1,0 ;	Novembre.....	1,5 ;	Décembre.....	0,0.

STRASBOURG (latit. 48° 1/2 N.; long. 5° 1/2 E.)... 17.

20 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE M. HERRENSCHNEIDER.

EXTRÊMES... 6 EN 1818, 21 EN 1831.

MAESTRICHT (latit. 51° N.; long. 3° 1/3 E.)... 16,2.

11 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE M. CRAHAY.

EXTRÊMES, 8 EN 1823, 27 EN 1826.

Répartition par mois.

Janvier.....	0,0, ;	Février.....	0,1 ;	Mars.....	0,4 ;
Avril.....	1,5 ;	Mai.....	2,5 ;	Juin.....	2,9 ;
Juillet.....	3,7 ;	Août.....	3,3 ;	Septembre.....	1,4 ;
Octobre.....	0,5 ;	Novembre.....	0,1 ;	Décembre.....	0,1.

LEYDE (Hollande) (lat. 52° N.; long. 2° E.)... 13,5.

29 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE MUSCHENBROECK.

EXTRÊMES... 5 EN ...., 17 EN 1748.

Répartition par mois des 13,5 jours annuels de tonnerre.

Janvier..... 0,1 ;	Février..... 0,4 ;	Mars..... 0,2 ;
Avril..... 0,3 ;	Mai..... 2,1 ;	Juin..... 2,7 ;
Juillet..... 2,9 ;	Août..... 2,9 ;	Septembre..... 1.0 ;
Octobre..... 0,3 ;	Novembre..... 0,3 ;	Décembre..... 0,2.

ATHÈNES (lat. 38° N.; long. 21° 1/3 E.)..... 11.

3 ANNÉES, DE 1833 A 1835.

EXTRÊMES... 7 EN 1825, 18 EN 1834.

POLPERO (côte orientale du Cornouailles) (lat. 50° 1/3 N.; long. 6° 1/2 O.)..... 10.

13 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE M. JONATHAN COUCH.

PÉTERSBOURG (lat. 60° N.; long. 28 E.)..... 9,2.

11 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE KRAAFFT (DEPUIS 1726 JUSQU'EN 1736).

Répartition par mois de ces 9 années.

Janvier..... 0,0 ;	Février..... 0,0 ;	Mars..... 0,0 ;
Avril..... 0,7 ;	Mai..... 2,7 ;	Juin..... 2,1 ;
Juillet..... 2,5 ;	Août..... 0,9 ;	Septembre..... 0,1 ;
Octobre..... 0,0 ;	Novembre..... 0,1 ;	Décembre..... 0,0.

LONDRES (lat. 51° 1/2 N.; long. 2° 1/2 O.).... 8,5.

13 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE M. HOWARD, DE 1807 A 1822, FAITES A PLAISTOW, A CLAPTON ET A TOTTENHAM PRÈS DE LONDRES.

EXTRÊMES ..... 5 EN 1819, 13 EN 1809.

Répartition par mois des 8,5 orages annuels.

Janvier..... 0,0 ;	Février..... 0,2 ;	Mars..... 0,4 ;
Avril..... 0,4 ;	Mai..... 1,8 ;	Juin..... 1,4 ;
Juillet..... 2,0 ;	Août..... 1,3 ;	Septembre..... 0,4 ;
Octobre..... 0,4 ;	Novembre..... 0,2 ;	Décembre..... 0,1.

PÉKIN (lat. 40 N.; long. 114° E.)..... 5,8.

6 ANNÉES D'OBSERVATIONS DES MISSIONNAIRES, DE 1757 A 1762.

EXTRÊMES... 3 EN 1757, 14 EN 1762.

Répartition par mois des 5,8 orages annuels.

Janvier..... 0,0 ;	Février..... 0,0 ;	Mars..... 0,0 ;
Avril..... 0,2 ;	Mai..... 0,5 ;	Juin..... 2,0 ;
Juillet..... 1,7 ;	Août..... 1,0 ;	Septembre..... 0,3 ;
Octobre..... 0,1 ;	Novembre..... 0,0 ;	Décembre..... 0,0.

LE CAIRE (Égypte) (lat. 30° N.; long. 29° E.)... 3,5.

2 ANNÉES D'OBSERVATIONS DE M. LE DOCTEUR DESTOUCHES (1835 ET 1836).

EXTRÊMES... 3 EN 1836, 4 EN 1835.

Répartition de 3,5 jours d'orages annuels.

Janvier..... 1,0 ;	Février..... 0,0 ;	Mars..... 0.5 ;
Avril..... 1,0 ;	Mai..... 0,0 ;	Juin..... 0,0 ;
Juillet..... 0,0 ;	Août..... 0,0 ;	Septembre..... 0,0 ;
Octobre..... 0,0 ;	Novembre..... 0,5 ;	Décembre..... 0,5.

§ VI. *Examen de plusieurs questions relatives aux coups de tonnerre.*

1617. On a agité depuis longtemps cette question : Tonne-t-il aussi souvent aujourd'hui que jadis? La solution de cette question est très-importante pour la physique du globe, puisqu'elle se rattache à la climatologie de chaque contrée. Malheureusement les philosophes anciens, tels que Pline, Sénèque, etc., qui ont écrit sur les phénomènes naturels, ne nous ont rien dit touchant le nombre de jours, terme moyen, qu'il tonnait par an à Rome, à Naples, etc. M. Arago, pour suppléer à ces données, qui sont indispensables, a eu l'idée de rechercher dans le recensement des coups foudroyants cités par les historiens, un aperçu qui pût aider à porter un jugement sur ce point.

Hérodote dit (1) : « Xercès, serrant de près l'Ida, situé à sa gauche, atteignit le territoire de Troie. La première nuit qu'il campa au pied de cette montagne, le tonnerre et les éclairs assaillirent son armée et lui tuèrent beaucoup de monde. »

M. Arago a trouvé, d'un autre côté, d'après divers renseignements, qu'il ne tonne pas plus aujourd'hui dans l'Asie Mineure que dans les climats d'Europe.

Pausanias rapporte qu'une armée lacédémonienne, qui campait sous les murs d'Argos, perdit beaucoup de soldats par la foudre.

M. Arago a encore acquis la preuve que, de nos jours, les orages sont peu fréquents et peu violents dans l'Attique et le Péloponèse. Il semblerait résulter, selon lui, des assertions de Pausanias et d'Hérodote, qu'il y a eu depuis les temps anciens, en Grèce, une diminution notable sous le rapport des orages. Ne pourrait-il pas se faire aussi que les tonnerres foudroyants qui firent tant de mal à

(1) Polymni. liv. VII.

l'armée lacédémonienne, coïncidassent avec un épouvantable tremblement de terre dont parle Pline? Je ferai remarquer, à cet égard, que deux citations ne suffisent pas pour établir une loi; aussi M. Arago se borne-t-il à les présenter comme de simples renseignements.

D'autres citations, puisées dans Virgile, Ovide, Properce, etc., tendent à montrer (tout en faisant la part de l'exagération, que se permet souvent la poésie) que depuis les temps anciens les orages paraissent avoir diminué d'intensité.

D'un autre côté, nous avons vu, plus haut, qu'il ne tonne jamais dans un pays du bas Pérou, tandis que les régions auxquelles il appartient sont celles où il tonne le plus. On doit inférer naturellement de là, qu'il existe des circonstances locales qui influent puissamment sur la fréquence des orages.

Je ferai remarquer cependant que l'absence des orages dans le bas Pérou étant accompagnée de l'absence de nuages, il faut d'autres citations pour montrer l'influence des circonstances locales. En voici d'autres qui précisent les faits:

1618. On trouve les observations suivantes dans un ouvrage de M. Graham-Hutchison, publié à Glascow, en 1835, et qui a pour titre: *On Meteorology; marsh, fevers, and even's system of equality :*

A la Jamaïque, depuis les premiers jours de novembre jusqu'au milieu d'avril, les sommets des montagnes du Port-Royal commencent à se couvrir de nuages, entre onze heures et midi. A une heure, ces nuages ont acquis leur maximum de densité; la pluie s'en échappe par torrents; les éclairs les sillonnent dans tous les sens, et le tonnerre, qui les accompagne, se fait entendre jusqu'à Kingston. Vers une heure et demie, le ciel est redevenu serein.

En supposant l'observation exacte, il y aura cent cinquante jours de tonnerre à Kingston, tandis que dans les îles voisines et les points du continent qui se trouvent dans la même position climatologique, le nombre n'ira pas à cinquante. On devra en conclure alors que les montagnes

de Port-Royal exercent une influence sur les productions des orages.

Dans les régions équinoxiales nous trouvons d'autres exemples analogues. Au dire des habitants, dans la vallée de Chillo, près de Quito, il tonne beaucoup plus que dans les contrées environnantes.

Si nous passons maintenant aux régions tempérées, on verra, en jetant les yeux sur les tableaux précédents, qu'en Europe, le nombre moyen annuel de jours où il tonne, varie assez lentement avec la latitude, de sorte qu'on devrait trouver peu de différence à Paris et aux environs d'Orléans; mais il n'en est pas ainsi. En effet,

A Paris, il tonne, terme moyen, quatorze fois par an, tandis qu'à Denainvillers, entre Pithiviers et Orléans, le nombre moyen des jours de tonnerre est de vingt et un.

La cause de cette différence, quelle qu'elle soit, ne peut être attribuée, comme le remarque M. Arago, à la forme du terrain, car il est difficile de citer un pays moins accidenté que celui qui se trouve entre Paris et Orléans. Doit-on chercher cette cause dans la Loire, dans la forêt d'Orléans, ou dans la Sologne? c'est ce qu'il est impossible de dire maintenant. Il faudrait, pour savoir à quoi s'en tenir à cet égard, faire un grand nombre d'observations dans cette direction.

Mais, en attendant, voyons jusqu'à quel point la nature du terrain peut contribuer à rendre les orages accompagnés de tonnerre plus ou moins fréquents. On trouve dans des observations adressées, en 1803, par M. Lewis Weston Dillwyn à M. Luke Howard, les citations suivantes:

Est de Devonshire; beaucoup d'orages (peu de mines métalliques).

Devonshire; un peu moins (plus de mines).

Cornouailles; moins encore (pays de mines).

Environs de Swansea; orages très-rares (grande abondance de mines de fer).

Sud de Devon; orages assez fréquents (point de mines).

Nord de Devon ; orages notablement moins fréquents qu'au sud (beaucoup de mines de fer, de cuivre et d'étain, exploitées).

M. Delwyn ajoute, d'après ses observations, que les pays calcaires sont ceux où les orages ont le plus de force et de fréquence. Ce n'est encore là qu'une opinion qui a besoin d'être appuyée par de nouveaux faits pour être considérée comme une vérité.

Il existe des lieux autres que Cornouailles où la liaison entre la nature géologique des terrains et le nombre ou la force des orages a été soupçonnée; je citerai à ce sujet le passage suivant, extrait de la statistique minéralogique et géologique du département de la Mayenne, par M. Blavier, ingénieur des mines :

« Dans le département de la Mayenne il existe des « masses de diorites grenues ou compactes (grünstein), « qui renferment une proportion notable de fer, et qui « agissent sur l'aiguille aimantée. Il nous a été assuré « que certaines communes, celle de Niort, par exemple, « voyaient toujours les orages les plus menaçants se dissi- « per à leur approche, ou les tourner dans certaines di- « rections. Nous pensons que c'est dans l'action conduc- « trice de plusieurs masses considérables de diorite qui « se montrent dans cette contrée, qu'il convient de cher- « cher l'explication de ce fait. »

1619. Passons à un autre ordre de phénomènes : tonne-t-il tout autant en pleine mer qu'au milieu des continents?

D'après un travail que M. Arago a fait à ce sujet, et dont je ne puis donner ici qu'un extrait, il paraît qu'il tonne moins en pleine mer qu'au centre des continents. Il conjecture même qu'au delà d'une certaine distance de toute terre, il ne tonne jamais. On trouve une preuve de la diminution des orages en mer, dans la relation du voyage du capitaine Bougainville.

« La frégate *la Thétis*, commandée par cet officier, « quitte la rade de Tourane (Cochinchine) vers le milieu « de février 1825, et fait voile pour Sourabaya, situé à « l'extrémité sud-est de Java. Pendant cette traversée, à

« peine essuya-t-elle un orage accompagné de tonnerre; « elle arrive enfin, et pendant son séjour dans la rade « (du 19 mars au 30 avril), le tonnerre ne cesse de gron- « der tous les après-midi. *La Thétis* fait voile le 1er mai pour « le port Jackson; pendant plusieurs jours elle se main- « tient presque exactement sur le parallèle de Sourabaya. « Toutefois, à peine a-t-elle perdu de vue les terres de « Java, que le tonnerre cesse de se faire entendre. »

Il semblerait résulter évidemment de ces faits, la conséquence qui est confirmée par d'autres observations, que l'atmosphère océanique est moins apte à engendrer des orages que celle des continents et des îles.

1620. Nous allons examiner actuellement dans quelle saison les coups de tonnerre foudroyants sont le plus fréquents.

Il y a un ancien dicton populaire ainsi conçu : que les tonnerres ne sont jamais plus dangereux que dans les saisons froides. M. Arago, désirant savoir à quoi s'en tenir à cet égard, a tenu note dans ses lectures de tous les coups foudroyants, à dates certaines, signalés par les navigateurs, et il les a classés par mois, en ne comprenant dans ce recensement que les événements d'un seul hémisphère, attendu qu'au nord et au midi de l'équateur les mois d'une même dénomination correspondent à des saisons opposées. Il n'a pas étendu non plus le champ de ses observations jusqu'aux régions tropicales, où les divers mois de l'année diffèrent très-peu entre eux sous le rapport de la température; il s'est borné à l'intervalle compris entre les côtes d'Angleterre et la Méditerranée inclusivement.

Il résulte de trente observations, qu'en mer les tonnerres des mois chauds sont beaucoup moins dangereux que ceux des saisons froides ou tempérées.

§ VII. *Réflexions relatives aux observations précédentes.*

1621. M. Arago, en considérant, d'une part, l'excessive rapidité avec laquelle la foudre traverse l'atmosphère et

les corps qui la propagent à la surface de la terre, est disposé à l'envisager comme le résultat d'ondulations qui semblent mieux se concilier avec de semblables vitesses plutôt que de la supposer formée de molécules matérielles; mais en songeant, d'un autre côté, aux grands effets mécaniques qu'elle produit et aux transports de poids considérables qu'elle opère à de grandes distances, on ne peut se dissimuler toutes les difficultés que l'on trouve à adopter l'hypothèse des ondulations fulminantes.

La matière fulminante, quelle qu'elle soit, et malgré son immense vitesse de propagation, n'a pas néanmoins une vitesse infinie, si on l'assimile à l'électricité que nous produisons avec nos machines. Tout porte à croire d'un autre côté que, lorsqu'elle se meut dans l'air atmosphérique, elle pousse devant elle les molécules qui le composent, d'où résultent des compressions et dilatations successives dans toute l'étendue de son trajet. Or, comme toute compression d'un gaz, là où il existe des matières combustibles, est accompagnée d'un dégagement de lumière, la route suivie par la foudre doit être marquée par un trait lumineux; cependant cette explication n'est point complète, puisqu'il faudrait supposer, dans toutes les parties de l'atmosphère où brillent les éclairs, la présence de corps combustibles, sans lesquels, d'après les expériences de M. Thénard, il n'y aurait point de lumière produite, celle-ci étant le résultat de la combustion de ces corps au moyen de la chaleur dégagée dans la combustion. On n'a pas besoin de faire aucune supposition pour rendre compte des effets produits : car là où il y a un écoulement considérable de matière fulminante, et par suite d'électricité (l'identité entre elles étant incontestable), il y a émission de lumière dans toute l'étendue de l'espace où il y a recomposition des deux électricités. Pour moi, l'éclair est un effet absolument semblable à celui que l'on observe sur les deux faces fortement chargées d'un tableau magique. Dans ce cas, les deux électricités, pour reformer du fluide neutre,

prennent toutes les directions qui leur donnent un facile passage. Dès l'instant qu'elles trouvent une route plus facile, elles la suivent. C'est ainsi qu'elles abandonnent de l'air condensé, qui leur présente de la résistance, pour entrer dans de l'air qui ne l'est pas. De là ces lignes brisées, ces zigzags qui caractérisent la marche des éclairs.

Suivant M. Arago, les éclairs, d'après la direction qu'ils suivent en zigzags à angles très-aigus, ont une direction si différente des courbes régulières que suivent les corps en mouvement soumis à l'action de forces accélératrices, qu'on n'ose s'arrêter à l'idée qu'un semblable éclair marque dans l'atmosphère les places qu'une même matière va successivement occuper. En considérant la foudre comme une ondulation, on peut comparer l'éclair aux réfractions qu'un rayon de lumière éprouve en traversant certains cristaux; seulement il faudra admettre que les exhalaisons qui se trouvent réparties diversement dans l'atmosphère, opposent à la marche de la foudre des résistances inégales dans diverses directions.

Quant aux éclairs en boules, M. Arago les considère comme un des phénomènes les plus inexplicables de la physique dans son état actuel.

Tout ce que l'on peut dire sur ces boules et globes de feu, c'est qu'ils paraissent être des agglomérations de substances pondérables fortement chargées d'électricité.

La foudre, comme je l'ai déjà dit, en traversant l'atmosphère, réagit sur les principes constituants de l'air, d'où résulte de l'acide nitrique : ne serait-il donc pas possible aussi que la foudre déterminât la combinaison de matières de toute nature qui peuvent exister dans l'air? Cette conjecture, qui gagne à l'examen, s'appuie encore sur le fait observé par M. Fusinieri, qu'on trouve du fer métallique et du fer à divers degrés d'oxidation, ainsi que du soufre, dans les dépôts pulvérulents qui entourent les fissures à travers lesquelles la foudre s'est ouvert un passage.

1622. Voyons maintenant comment on peut considérer les éclairs de chaleur, éclairs ainsi dénommés parce qu'ils brillent pendant les belles nuits de l'été.

Sénèque, en parlant de ces éclairs, dit « qu'au lieu « d'où ils partent, il se trouve des nuages que la forme « sphérique de la terre ne nous permet pas d'apercevoir. « Le feu de l'éclair, lancé vers le haut, se montre dans « la partie pure et sereine du ciel, quoique formé dans « un nuage obscur et ténébreux (1). »

Le P. Loseran de Fesc, dans une dissertation sur le tonnerre (couronnée en 1726 par l'académie de Bordeaux), professe la même opinion. Suivant lui, les éclairs de chaleur sont la réverbération, sur des couches atmosphériques plus ou moins élevées, d'éclairs ordinaires, produits dans des nuages orageux, que l'on ne peut apercevoir à cause de la forme arrondie de la terre.

Cette explication a été adoptée par la plupart des physiciens.

On pourrait opposer à ce raisonnement, que la puissance réfléchissante de l'atmosphère suffit pour nous renvoyer la lumière crépusculaire du soleil, mais non pour réverbérer celle des éclairs, qui est comparativement beaucoup plus faible. M. Arago répond à cette objection par des faits, en montrant que la faible lumière qui résulte de l'inflammation de quelques onces de poudre se reflète dans l'atmosphère d'une manière très-évidente; dès lors on peut admettre que la réflexion infiniment plus vive de certains éclairs peut produire des effets semblables.

Citons des exemples. On trouve dans le voyage de Saussure, que, dans la nuit du 10 au 11 juillet 1783, cet illustre physicien se trouvait à l'hospice du Grimsel par un ciel calme et serein. En regardant dans la direction de Genève, il voyait à l'horizon quelques bandes de nuages, d'où sortaient des éclairs qui ne produisaient

(1) Quest. nat. 1, 2. § XXVI.

aucun bruit. La même nuit, au même instant, la ville de Genève éprouvait un épouvantable orage. Un fait semblable se trouve consigné dans le recueil d'observations météorologiques de M. Luke-Howard. Le 31 juillet 1813, M. Howard voyait de Tottenham, près de Londres, de faibles éclairs de chaleur à l'horizon, vers le S.-E.; le ciel était sans nuages. M. Howard apprit bientôt de son frère, qui se trouvait sur la côte S.-E. de l'Angleterre, que ce même jour, 31 juillet, on apercevait de Hastings un grand orage qui embrassait en France l'espace compris entre Dunkerque et Calais. On voit donc que les éclairs dont on apercevait la lueur à Londres étaient nés au milieu de nuages à près de cinquante lieues de distance.

Nous devons ajouter que, pour expliquer ces éclairs silencieux engendrés au milieu des nuages, on a supposé que ces derniers étaient situés à des distances telles de l'observateur, que le bruit des détonations et du roulement du tonnerre ne pouvait parvenir jusqu'à lui : cette supposition, du reste, ne pourrait pas expliquer l'observation de Deluc, dans laquelle des éclairs, de même intensité et partis des mêmes nuages, étaient suivis, les uns d'étourdissants roulements, les autres d'un silence absolu. Quant aux tonnerres sans éclairs, dont j'ai parlé précédemment, M. Arago explique ainsi ce phénomène :

« Concevons deux couches distinctes de nuages superposées; supposons que la couche supérieure devienne « le siége d'un grand orage; qu'elle soit sillonnée par de « brillants éclairs, qu'il en parte de retentissantes détonations. Si les nuages inférieurs sont très-opaques ou « très-épais, la lumière des éclairs, quelque vive qu'on « la suppose, ne les traversera pas; elle s'y absorbera « presque en totalité; il n'en arrivera rien de sensible à « la surface de la terre; et cependant, comme des corps « non perméables à la terre se laissent facilement traverser par le son, le même observateur qui ne voit pas « l'éclair entendra parfaitement le son. »

La supposition d'où part M. Arago est justifiée par les relations d'un grand nombre de voyageurs; ainsi je ne m'y arrêterai pas davantage.

§ VIII. *Du roulement du tonnerre, de ses éclats, etc.*

1622. J'ai déjà parlé, dans cet ouvrage, de l'intervalle qui sépare le tonnerre de l'éclair qui le précède, ainsi que de la méthode employée pour déterminer la distance à laquelle la détonation a lieu; je n'y reviendrai donc pas; je me bornerai seulement à faire remarquer que la distance obtenue n'est autre que l'hypoténuse d'un triangle rectangle, dont les deux côtés sont, d'une part, une portion de l'horizontale du lieu où l'on observe, de l'autre, la hauteur verticale du nuage au-dessus de cette même horizontale. Si l'on veut avoir la hauteur des nuages, on détermine avec un graphomètre ou un théodolite la hauteur angulaire de l'extrémité de l'éclair au lieu de l'observation, et on a alors tous les éléments pour résoudre la question. Je rappellerai que lorsqu'il s'écoule une seconde de temps entre l'éclair et le tonnerre, les nuages sont au plus à 337 mètres de hauteur perpendiculaire.

Une question qui a de l'importance pour la physique terrestre est celle qui concerne la détermination des plus grandes distances auxquelles le tonnerre ait été encore entendu.

Delille a compté une fois 72 secondes entre l'éclair et le tonnerre; c'est l'intervalle le plus long dont fassent mention les recueils météorologiques; ce nombre donne, pour la distance du nuage où l'éclair s'était montré, 24,264 mètres, ou 6 lieues de 4,000 mètres. Un autre observateur a trouvé 49 secondes, qui correspondent à une distance d'un peu plus de 4 lieues. Or, le bruit du canon se fait entendre à des distances de 20 et même de 36 lieues; doit-on inférer de là que les décharges fulminantes n'ont jamais lieu dans l'atmosphère à plus de 6 lieues au-dessus de la terre, ou bien que le bruit des

plus violents tonnerres s'éteignant beaucoup plus facilement que celui du canon, il ne pourrait être entendu à des distances aussi considérables que celles où le bruit de celui-ci est perceptible à notre oreille? C'est une question qui a déjà été soulevée par plusieurs personnes et qui mérite d'être étudiée, afin de connaître toutes les causes qui contribuent à affaiblir le bruit du tonnerre.

Nous arrivons maintenant aux recherches qui ont été faites pour découvrir la cause physique du tonnerre, c'est-à-dire du bruit qu'il fait entendre, car il ne peut y avoir aucun doute sur son origine qui est éminemment électrique.

Sénèque attribuait le bruit du tonnerre au choc de deux énormes nuées (1).

Descartes n'a fait que reproduire cette explication, qui est inadmissible, puisqu'il tonne souvent sans qu'il y ait deux couches de nuages dans l'atmosphère.

Après l'explication de Sénèque et de Descartes on a fait intervenir l'atmosphère, en disant que, dans son trajet, la foudre refoule l'air et fait le vide partout où elle passe; dès lors le bruit serait produit par la rentrée subite de l'air dans ce vide.

Au surplus, quelle que soit la cause qui produit les détonations de la foudre, fût-elle le refoulement de l'air, on se demande quelle est l'origine des longs roulements qui distinguent le bruit du tonnerre, auxquels on a donné le nom d'*éclats*.

Commençons d'abord par discuter jusqu'à quel point les échos peuvent être considérés comme cause productrice de ces phénomènes. Nous avons vu précédemment que le roulement du tonnerre peut durer 36, 41 et même 45 secondes. A-t-on des exemples que des échos puissent donner lieu à d'aussi longs roulements?

M. Arago cite à ce sujet une observation faite près des lacs de Kilarney, par M. Scoresby, qui entendit le bruit de la décharge d'un pistolet pendant une demi-

(1) Quest. nat., liv. II, § XXVII.

minute. Peut-être, si l'on eût observé le bruit du canon, le retentissement aurait-il duré 45 secondes et même plus. L'intensité du bruit doit être prise ici en considération, puisque dans une localité des environs de Paris, qui n'offre rien de remarquable sous le rapport des échos, à Montlhéry, au pied de la tour, où l'on fit des expériences sur la vitesse du son, les observateurs entendaient pendant 20 à 25 secondes le roulement du canon qu'on tirait près d'eux.

A la vérité les marins assurent qu'on entend également le roulement de la foudre en pleine mer, là où il n'existe aucun objet terrestre capable de réfléchir le son. Mais, en faisant cette objection, on admet tacitement que les nuages ne jouissent pas de la même propriété. Cependant on trouve, dans Muschenbroeck, une observation qui tend à montrer l'influence des nuages sur la réflexion du son. Il dit positivement, que, dans la même localité où la décharge du canon ne fait entendre qu'un seul coup quand le ciel est serein, le bruit se répète plusieurs fois si le temps est couvert.

Dans les expériences faites sur la vitesse du son, à Villejuif et à Montlhéry, pareille observation a été faite. « A Villejuif, dit M. Arago, il nous est arrivé quatre « fois d'entendre, à deux secondes d'intervalle, deux « coups distincts du canon de Montlhéry. Dans deux « autres circonstances, le bruit de ce canon a été ac- « compagné d'un roulement prolongé. Ces phénomènes « n'ont jamais eu lieu qu'au moment de l'apparition de « quelque nuage. Par un ciel complétement serein, le « bruit était unique, il ne durait qu'un instant. »

Voyons maintenant s'il n'existe pas d'autres observations capables de nous éclairer sur la cause du roulement du tonnerre. Le docteur Robert Hooke est le premier qui ait fait intervenir une circonstance qui a été négligée par la plupart des physiciens modernes; c'est la distinction entre les éclairs simples et les éclairs composés ou multiples. Chacun des premiers n'occupe qu'un point dans l'espace, et produit un bruit court et

instantané; le bruit des autres, au contraire, est un roulement prolongé, attendu que « les différentes parties des « longues lignes que ces éclairs occupent, se trouvant « en général à des distances diverses, les sons qui s'y « engendrent, soit successivement, soit au même ins- « tant physique, doivent employer des temps graduelle- « ment inégaux, pour venir frapper l'oreille de l'obser- « vateur. »

M. Robisson a reproduit cette ingénieuse explication dans l'Encyclopédie britannique.

Voici la traduction du passage où elle se trouve consignée : « J'aperçus un éclair parallèle à l'horizon et qui pou- « vait avoir trois milles de long. Il me parut coexistant : « personne n'avait pu dire par quelle extrémité il com- « mença. Le tonnerre se composa, au début, d'un coup « très-intense, et ensuite d'un roulement irrégulier qui « dura environ quinze secondes. J'imagine que les dé- « tonations arrivèrent simultanément dans la vaste « étendue de l'éclair, mais qu'elles ne furent pas partout « de la même intensité; différentes portions de l'agita- « tion sonore arrivèrent jusqu'à l'oreille, les unes après « les autres, à l'aide des ondulations de l'air; ce qui « produisit l'effet d'un son prolongé. Telles seraient « aussi les apparences pour une personne placée à l'ex- « trémité d'une longue file de soldats qui tireraient tous « leurs fusils au même instant; cette personne en- « tendrait de même un roulement irrégulier, si les fu- « sils n'étaient pas également chargés dans les différentes « parties de la file. »

Il n'est pas besoin d'en dire davantage pour montrer l'étroite liaison qui existe entre les éclats du tonnerre et les zigzags des éclairs.

La théorie précédente du roulement du tonnerre peut servir à donner, sinon les vraies longueurs des éclairs, du moins des valeurs plus petites. C'est déjà beaucoup pour la science d'avoir une limite. Supposons un éclair situé tout entier d'un côté du zénith et menons deux rayons visuels à ses extrémités. Ces deux rayons et l'é-

clair supposé dirigé en ligne droite formeront un triangle. Or, comme dans tout triangle un côté est toujours plus petit que la somme des deux autres, il en résulte que la différence des deux rayons visuels est plus petite que la longueur de l'éclair. On peut évaluer de la manière suivante en mètres la différence des deux rayons visuels : il faut avoir égard à la durée du roulement; cette durée, comme on l'a déjà vu, est le temps dont le son a besoin pour parcourir un intervalle égal à la différence de longueur des deux lignes menées aux deux extrémités de l'éclair. Il suffit donc de multiplier par 337 le nombre de secondes qui exprime la durée du roulement du tonnerre; le produit est la limite en moins qu'on cherche. On a supposé que l'éclair était placé d'un seul côté du zénith; mais les conséquences seraient encore les mêmes si l'éclair avait toute autre position; seulement les limites calculées seraient encore plus au-dessous de la longueur réelle de l'éclair.

Je passe sous silence les explications qu'on a données de l'odeur développée par les coups de foudre, ainsi que des effets de fusion, de vitrification instantanée qu'elle produit, attendu que je ne pourrais rien ajouter à ce que j'en ai déjà dit dans le quatrième volume.

1623. J'ajouterai seulement diverses observations sur quelques effets mécaniques de la foudre, qui peuvent servir à expliquer les phénomènes de transport.

On sait que lorsqu'un corps est brisé par la foudre, ses débris sont lancés dans toutes sortes de directions. Ce fait, suivant M. Arago, ne peut guère s'expliquer en s'appuyant sur la seule théorie du choc des corps. Pour en rendre raison, il faut admettre que la foudre développe, lors de son passage dans les corps qui renferment de l'eau, de la vapeur dont la force expansive s'étend en tous les sens. Or, la chaleur que la foudre développe en traversant les fils métalliques étant suffisante pour les fondre, on doit en conclure qu'elle doit élever considérablement la température des minces filets d'eau qu'elle trouve sur son passage. En outre, lorsque l'eau atteint la tem-

pérature de 260°, sa force élastique est déjà de 45 atmosphères. Quelle force ne doit-elle pas avoir à une température beaucoup plus élevée ! Il n'en faut pas davantage pour concevoir l'action mécanique de la foudre, dans des corps tels que les arbres qui renferment de l'eau. C'est ainsi que la foudre fend le bois, suivant sa longueur, en une multitude de lattes minces ou de filets très-déliés; qu'elle sépare dans le bois vert l'écorce du tronc; que ce tronc, les branches, les feuilles et l'écorce sont souvent complétement desséchés par suite de la dispersion de l'eau, sans offrir aucune trace de combustion. Il peut très-bien se faire que la force expansive de la vapeur d'eau produite par le passage de l'électricité dans le bois soit la cause des effets dont je viens de parler; mais on peut les interpréter encore en supposant que la décharge électrique éprouve une résistance moindre en parcourant les fibres ligneuses dans le sens de leur direction, que dans le sens transversal; il résulte par ce moyen une action expansive, un clivage en lattes.

§ IX. *Des paratonnerres.*

1624. Je n'aurai que peu de chose à dire ici sur les paratonnerres, attendu que j'en ai parlé déjà avec de grands développements dans le quatrième volume; je crois convenable cependant d'y revenir afin de rapporter quelques faits relatifs à la distance à laquelle les paratonnerres exercent leur action préservatrice, vu que les instructions qui ont été données, à cet égard, ne sont appuyées d'aucune preuve :

Le 15 mai 1777, la foudre frappa le magasin à poudre de Purfleet, à 5 lieues de Londres, quoiqu'il y eût un paratonnerre; or, la pointe de ce paratonnerre était à 26 pieds anglais de hauteur au-dessus du niveau des dalles de la corniche, et la distance horizontale comprise entre le prolongement vertical du paratonnerre et un crampon qui fut foudroyé, n'avait que 24 pieds. On voit par là que le paratonnerre n'a pas garanti, à la base du

toit, un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur, comme on le croit généralement.

Le 17 juin 1774, la foudre en tombant à Tenterden (Kent), démolit une cheminée éloignée de 50 pieds anglais de la tige pointue d'un paratonnerre, placé sur une autre cheminée; cette pointe ne dépassait le niveau des autres cheminées que de 5 pieds. Dans ce cas, la distance était dix fois plus grande que la hauteur des paratonnerres au-dessus du point foudroyé.

Le 17 juin 1781, un violent coup de foudre frappa, dans la maison des pauvres de Heckingham, un point situé à une distance horizontale de 55 pieds anglais de la partie inférieure du paratonnerre. La sommité aiguë de la tige ne s'élevait pas de plus de 22 pieds au-dessus du niveau du point foudroyé.

Ce dernier fait, et d'autres analogues que je pourrais citer, tendent néanmoins à prouver, en général, comme on l'a avancé, que l'action préservatrice du paratonnerre s'étend au double de la hauteur des tiges, au-dessus de leurs points d'attache.

Avant de terminer, je rapporte divers passages tirés de plusieurs ouvrages des philosophes de l'antiquité, lesquels portent à croire que les anciens connaissaient le procédé à l'aide duquel on soutire la foudre des nuées.

Suivant eux, faire descendre le tonnerre ou la divinité était la même chose. Au rapport de Pline, Numa avait eu fréquemment ce pouvoir, et Tullus Hostilius, son successeur, périt pour avoir employé avec maladresse ce dangereux procédé. Je trouve effectivement dans Pline ce passage remarquable, relatif à Tullus Hostilius. Dans le moment où il imitait, d'une manière irrégulière, le procédé de Numa, Tullus fut frappé de la foudre : *Quod scilicet fulminis evocationem imitatum parum rite, Tullum Hostilium ictum fulmine* (1).

(1) Plin. IV, c. 11, § 3.

Je trouve encore dans Lucain un passage remarquable relatif au même sujet. Aruns, savant Étrurien, instruit dans les mouvements du tonnerre, est dit avoir ramassé les feux de la foudre qui étaient dispersés dans le ciel, et les avoir enfouis dans la terre.

> .....Aruns dispersos fulminis ignes
> Colligit et terrâ mæsto cum murmure condit.
> (Lucain, Pharsale, 1. 6. 10).

Il est impossible de s'expliquer plus clairement sur l'emploi des paratonnerres pour soutirer la foudre des nuages.

CHAPITRE III.

DE L'ÉLECTRICITÉ NÉGATIVE DE L'EAU DES CASCADES.

1625. Nous avons vu (1) que, lorsqu'on présente un électromètre atmosphérique à la pluie très-fine qui résulte de l'éparpillement de l'eau près d'une cascade, on obtient des signes très-distincts d'électricité négative, et qu'il en est encore de même lorsque l'on place l'électromètre sur les bords d'un torrent, là où il est le plus impétueux, et encore toutes les fois qu'une masse d'eau qui se précipite est peu considérable et ne présente qu'un filet gros comme le doigt.

J'ai attribué cette électricité à la terre à laquelle elle a été enlevée, soit par les globules d'eau qui jaillissent des cascades, soit par les globules plus légers qui s'élèvent de la surface du globe.

M. Belli (2) a fait une série d'observations pour examiner jusqu'à quel point l'opinion que j'ai émise à cet égard était fondée. Je vais indiquer ici quelques-unes de ses expériences.

Un vase conique fut suspendu à un anneau métallique fixé à un support de même nature. L'orifice de ce vase était tourné en haut, et l'extrémité inférieure était percée d'une petite ouverture par laquelle s'échappait, goutte à goutte, l'eau qu'il renfermait. Ces gouttes fu-

(1) Tom. IV, p. 121.

(2) Bibl. univ., tom. VI, p. 149.

rent recueillies dans un récipient isolé : ce récipient donna des signes d'électricité positive tellement manifestes qu'une bouteille de Leyde mise en contact avec lui donna une commotion sensible à la langue. Je dois ajouter que M. Belli tenait, je ne sais pour quel motif, très-près du récipient isolé latéralement à l'extrémité conique du vase, un bâton de gomme laque fraîchement rompu.

Dans une seconde expérience, M. Belli, aidé de l'astronome M. Paolo Frisiâni, se servit d'une pompe à compression, qu'il plaça sur une terrasse élevée. L'électricité atmosphérique accusait alors de l'électricité positive; le ciel était parfaitement serein. Le récipient de la pompe renfermait de l'eau et de l'air comprimé. Les deux observateurs laissèrent sortir un jet d'eau ascendant légèrement incliné par rapport à la verticale, et recueillirent les gouttes qui s'en échappaient dans un vase isolé, communiquant à une bouteille de Leyde, et, après avoir examiné celle-ci avec un condensateur, ils s'assurèrent que les gouttes étaient électrisées négativement d'une manière sensible.

M. Belli fait observer que ce résultat pouvait être la conséquence, soit de l'influence exercée par l'électricité de l'atmosphère qui maintenait électrisée en moins la sommité de la colonne aqueuse ascendante, ce qui faisait que les gouttes d'eau qui s'en détachaient possédaient la même électricité, soit de l'influence de l'évaporation des gouttes, après la séparation de la masse. Pour décider l'alternative, MM. Belli et Paolo Frisiâni firent l'expérience dans une des cours d'un vaste bâtiment, où l'électricité atmosphérique ne donnait aucun signe sensible à l'électromètre. L'expérience ayant prouvé que le jet d'eau ne donnait aucun signe d'électricité à l'appareil, ils en conclurent que l'électricité atmosphérique jouait un certain rôle dans la production des effets électriques observés, et que ces effets ne pouvaient être attribués à l'évaporation.

Les expériences précédentes furent répétées un jour

où le soleil ne dardait pas avec autant de force, afin qu'on ne pût pas attribuer les effets à une abondante évaporation. Les résultats furent encore les mêmes. M. Belli en a conclu alors que l'action de l'électricité atmosphérique était la véritable cause de l'électricité négative des gouttes d'eau détachées des jets d'eau artificiels qui jaillissaient à ciel découvert, et que l'influence de l'évaporation était excessivement faible.

Dans une autre expérience, M. Belli prit un électroscope délicat de Bohenberger et une fontaine de compression, et se transporta dans un lieu élevé. Avec cet électroscope, il reconnut, au moyen d'une tige métallique, que l'air était électrisé positivement. La fontaine de compression qui renfermait, comme précédemment, de l'eau et de l'air comprimé, fut placée sur le tabouret isolant. La tablette en bois du tabouret fut mise en communication avec la boule de l'électroscope. On obtint des signes d'électricité positive dès l'instant que l'on eut laissé sortir le jet. Cette électricité fut regardée par M. Belli comme une conséquence de l'action de l'atmosphère sur la colonne d'eau qui formait le jet; action qui électrisait en moins l'extrémité supérieure de la colonne, tandis qu'elle chassait l'électricité positive dans les parties inférieures de la colonne liquide, et par suite dans le récipient plein d'eau qui communiquait avec la partie supérieure du tabouret. Bien que ces diverses expériences viennent à l'appui de l'opinion de M. Belli, néanmoins le seul moyen de décider la question serait de déterminer l'électricité des cascades naturelles ou des fontaines artificielles dans les temps d'orage, alors que l'électricité de l'atmosphère est négative. Ces cascades et ces fontaines donneraient dans ce cas de l'électricité positive.

CHAPITRE IV.

DES TROMBES EN GÉNÉRAL ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LA FOUDRE.

§ Ier. *Description du phénomène.*

1626. Les trombes sont des amas de vapeurs épaisses, animées souvent d'un mouvement rapide de rotation et de translation, ressemblant à une nuée de forme conique, dont la base est dirigée le plus souvent vers les nuages et le sommet vers la terre, et quelquefois dans une position inverse; ces amas font entendre un bruit assez semblable à celui d'une charrette courant dans un chemin rocailleux.

Ces météores causent quelquefois des désastres épouvantables; ils déracinent les arbres, les dépouillent de leurs feuilles, les foudroient et les transportent à de grandes distances; ils renversent les maisons, enlèvent leur toiture, détruisent ou brisent tout ce qui se trouve sur leur passage. Souvent ils déversent de la pluie et de la grêle; souvent aussi ils sont accompagnés de globes de feu. Ils lancent des éclairs et font entendre le bruit du tonnerre, puis ils se dissipent assez ordinairement après. Sur mer on observe également des trombes qui effrayent les plus intrépides voyageurs, et qui paraissent avoir une origine semblable. Ce phénomène, qui est un des plus complexes de la physique, n'a pas encore été expliqué d'une manière complétement satisfaisante. M. Peltier, en s'appuyant sur les effets mécaniques de l'électricité, a cherché à en donner une théorie que j'exposerai plus

loin. Je désire montrer auparavant que si l'on n'admet pas que la foudre soit la cause immédiate de sa production, on ne peut s'empêcher du moins de reconnaître qu'elle laisse des traces de son passage dans presque tous les endroits où la trombe exerce ses ravages. Ainsi, la foudre accompagnant ordinairement les trombes, doit jouer certainement un rôle dans leur production.

1627. Je commencerai par rapporter les relations consignées dans divers recueils scientifiques, d'effets désastreux produits par des trombes terrestres les plus remarquables qu'on ait observées. En comparant tous ces récits, il sera facile de faire ressortir toutes les circonstances qui leur sont communes, et par suite d'apercevoir la cause présumée de leur formation.

Nous trouvons, dans l'Histoire de l'Académie des sciences, année 1727, la relation suivante : « Le 2 novembre 1729, vers 8 heures du matin, on aperçut à « Montpellier, du côté sud-est, d'où soufflait le vent, « une petite nuée, fort obscure et fort élevée, qui s'avançait vers la ville avec un bruit sourd, qui augmenta à mesure qu'elle s'approchait. Elle s'abaissa « jusqu'à terre ; on crut y apercevoir une lumière semblable à celle d'une fumée qui s'élève d'un grand feu, « et après le passage de la nuée, on avait senti une forte « odeur de soufre, comme celle qui infecte les lieux récemment frappés de la foudre. Cette nuée avait un « mouvement très-rapide, et formait autour d'elle un « tourbillon qui s'étendait à 50 toises à la ronde, et dont « l'activité était si prodigieuse, qu'il déracinait les arbres, « enlevait le toit des maisons, renversait les édifices et « emportait les débris à plus de 200 toises. Après avoir « parcouru une petite demi-lieue en longueur, sur une « largeur d'environ 100 toises, et qu'il se fut dissipé, il « survint une grosse pluie d'orage, sans éclairs et sans « tonnerre. »

Dans le *Journal de physique*, du mois de novembre 1780, on trouve la description d'une trombe qui eut lieu sur les 5 heures du soir, près de Carcassonne : cette

trombe avait pris naissance sur les bords de l'Aude; elle commença par déverser une grande quantité d'eau, puis lança, à une grande hauteur, des jets de sable; elle découvrit 80 maisons, et dispersa dans les campagnes des gerbes de blé qu'elle avait enlevées. Elle arracha de gros frênes et en transporta à 20 toises de distance les grosses branches dans le sens contraire de sa direction. Les portes, les fenêtres, les meubles d'un château furent brisés; le milieu d'une chambre fut dépavé, sans que des tas de faïence qui s'y trouvaient fussent dérangés. Le cadre d'un miroir appuyé sur une cheminée fut brisé, et ses éclats portés sur des chaises. La glace, restée en place, ne fut point endommagée.

Dans les Mémoires de l'Académie de Toulouse, tom. V, je trouve la description suivante d'une trombe qui dévasta, le 15 juin 1785, le territoire d'Esclades, à 4 lieues de Narbonne : la nuit qui précéda ce terrible météore fut très-belle. Le lever du soleil ne fut obscurci d'aucun nuage; l'air était calme et pur. A 6 heures et demie du matin la chaleur devint très-piquante, et augmenta jusque vers 7 heures qu'elle fut excessive. Alors parut, vers le côté de l'ouest, un petit nuage qui grossit peu à peu, et s'étendit au point que, dans l'espace d'une heure, il couvrit tout l'horizon. Le thermomètre de Réaumur marquait 29°, et le baromètre 27$^{po.}$ 11$^{l.}$, par un vent d'ouest très-faible. Tel fut l'état de l'atmosphère jusqu'à 2 heures après midi. A cette époque il se forma du côté de l'ouest une espèce de colonne fumeuse, bruyante, d'une hauteur énorme, qui passa entre Esclades et Montbrun. Dans sa marche elle enleva la terre, le gravier, déracina les arbres et ravagea tout ce qui se trouva sur sa route. Cette tempête dura l'espace de 5 minutes. A une lieue et demie d'Esclades, elle parut stationnaire pendant 5 autres minutes, et revint sur ses pas. Le bruit qu'elle faisait ressemblait au roulement continuel du tonnerre; elle fondit sur Esclades où il tomba une grêle épouvantable. A cette grêle succéda une pluie si abondante, que la campagne en fut inondée; elle dura trois quarts

d'heure. La foudre tomba en plusieurs endroits. Pendant ce temps, le thermomètre monta à 32°, et le baromètre à 28$^{po.}$ 1$^{l.}$ par un vent d'est très-violent. Après que le météore eut disparu, le temps se refroidit et le mercure descendit à 27°.

M. de Humboldt dit (1) que dans les steppes de l'Amérique méridionale la plaine offre quelquefois un spectacle extraordinaire; « Pareil à une vapeur, le sable « s'élève au milieu d'un tourbillon raréfié et peut-être « chargé d'électricité, tel qu'une nuée en forme d'en- « tonnoir, dont la pointe glisse sur la terre, et sembla- « ble à la trombe bruyante redoutée du navigateur ex- « périmenté.

« En Europe, dans les chemins, nous voyons quelque « chose qui approche du phénomène singulier de ces « trombes de sable; mais elles sont particulièrement « observées dans les déserts sablonneux situés au Pérou, « entre Coquimbo et Amotape. Ce qui est digne de re- « marque, c'est que ces courants d'air partiels qui se « heurtent, ne se font sentir que lorsque l'atmosphère est « entièrement calme; par conséquent l'océan aérien est « semblable à la mer, où des filets de courants qui en- « traînent l'eau en clapotant, ne sont sensibles que par « le calme plat. »

Ce savant ajoute que, dans la savane d'Apurée, le thermomètre s'élevait de 27 à 29° R. aussitôt que le vent chaud du désert commençait à souffler, et qu'au milieu du nuage de poussière, la température était, pendant quelques minutes, à 35°.

Le *Courrier* du 19 septembre 1826 a publié la relation d'un météore qui avait exercé ses ravages dans l'arrondissement de Carcassonne, le 26 août précédent.

Le vent était au sud, la chaleur de la matinée avait été étouffante; à midi environ les nuages s'amoncelèrent vers l'ouest. Un vent impétueux se fit sentir. Un nuage

(1) Tableau de la nature, tom. 1, p. 43 et 177.

noir et épais paraissait suspendu sur une pièce de terre près du château de la Caunette (100 toises); on voyait, dans la direction du territoire de Fombraise, les nuages se heurter, s'entre-choquer et descendre très-bas, comme attirés par la terre. Le tonnerre grondait de toutes parts; un roulement sourd se faisait entendre. Les animaux domestiques fuyaient vers leur demeure. Tout à coup on entendit un craquement affreux dans la direction de l'ouest. L'air, vivement agité, était attiré avec une vitesse extrême vers ce nuage opaque, qui couvrit le Champ Rouge. L'instant de la réunion fut signalé par une forte détonation et l'apparition d'une énorme colonne de feu, qui, rasant le champ, déracina tout sur son passage. Un jeune homme de dix-sept ans se trouvant dans la direction de ce météore, fut tourbillonné, enlevé dans les airs, et eut la tête fendue sur un rocher. Quatorze moutons furent enlevés, et tombèrent asphyxiés.

Cette colonne d'air et de feu renversa des murs, déplaça d'énormes rochers, déracina les plus grands arbres, pénétra dans le château par deux issues, souleva et renversa les pierres de taille de la porte cochère, brisa la porte, en tordit toutes les pentures, fracassa une fenêtre, pénétra dans le salon du premier, se fit jour à travers le plafond, perça le second, s'élança vers le toit, et fit écrouler ces trois étages avec un fracas terrible. Des dames qui se trouvaient dans le salon, virent le globe de feu y pénétrer, et ne durent leur salut qu'à une énorme poutre qui fit voûte et retint la boiserie. Une trombe d'air, pénétrant par la croisée au-dessus de la cuisine, renversa une cloison, souleva le plancher, brisa les meubles, bouleversa les lits, ouvrit les armoires sans rien déranger, perça un gros mur et en jeta les débris à une très-grande distance, rompit les combles du château, déracina et souleva un énorme chêne vert de 5 pieds de circonférence, écrasa deux petites maisons, emporta les charrettes, les précipita dans le ravin, déracina plusieurs noyers énormes qui s'y trouvaient, ravagea les vignes, laissant sur le terrain de très-profonds sillons; l'air était

imprégné d'une forte odeur de soufre. Ce météore disparut dans la direction de Fournas, et fut suivi d'une très-forte pluie; puis le ciel devint serein, et le vent d'est commença à souffler.

En 1823, une trombe exerça de grands ravages dans plusieurs communes des arrondissements de Dreux et de Mantes. Dans le hameau de Marchefroid, cinquante-trois habitations furent détruites en une minute : à peine y entendit-on l'orage; il n'y tomba qu'un peu de grêle avant l'apparition de la trombe. Un enfant de trois ans, qui était dans une cour près de sa mère, fut tué sur-le-champ. On ne lui trouva d'autres blessures qu'un trou au cou, d'une certaine profondeur.

Des combles entiers furent enlevés dans le sens et à contre-sens de la direction suivie par la trombe. Les quatre murs d'un jardin furent entièrement renversés, chacun dans leur sens, en dehors du jardin. Ce renversement se fit d'une manière régulière. Après le passage de ce météore, la température ne sembla point changée, et le soleil reparut aussitôt.

Le 6 juillet 1822, une trombe se forma dans la plaine d'Ossonval, près du village de ce nom, dans le département du Pas-de-Calais.

Des nuages venus de divers côtés, s'étant rassemblés au-dessus de la plaine, finirent par n'en former qu'un seul qui couvrait l'horizon. Immédiatement après, on vit descendre de ce nuage un cône dont la base s'appuyait sur lui. La partie inférieure tournait avec une vitesse considérable. Cette trombe, poussée par le vent, abattit une grange, déchira et emporta la couronne des arbres les plus forts, en renversa vingt-cinq à trente et les coucha en différents sens, de manière à prouver que la trombe cheminait en tournoyant; elle en enleva et les accrocha à d'autres arbres de 60 à 70 pieds de haut. On vit, en outre, sortir, de temps à autre, de son centre des globes de feu et des globes de vapeurs comme soufrés. Ce météore, dans sa marche rapide, faisait entendre un bruit semblable à celui d'une lourde voiture roulant sur un chemin pavé.

Elle pénétra ensuite dans la vallée de Witternestre et Lambre. Le premier de ces villages, composé de quarante habitations, n'en conserva que huit d'intactes; partout la trombe laissa des traces de son passage. A Witternestre, elle renversa, en sens contraire, les pignons et les murs des maisons; enfin, elle se divisa : une partie se dissipa dans les airs, et l'autre se réduisit en un simple nuage.

Pour dernier exemple, je citerai les désastres produits par une trombe, le 18 juin 1839, dans la commune de Chatenay, canton d'Écouen (département de Seine-et-Oise). Ayant été témoin moi-même de ce désastre, je puis en garantir l'exactitude. Deux relations ont été faites de cette trombe, l'une par M. Peltier, l'autre par M. Bouchard (1). Je ne saurais mieux faire que de donner ici un extrait de la première, en y ajoutant quelques détails qui ne s'y trouvent pas.

M. Peltier s'exprime ainsi :

« Dès le matin, un orage s'était formé au sud de Chatenay, et s'était dirigé, vers les dix heures, dans la vallée entre les collines d'Écouen et le monticule de Chatenay. Les nuages étaient assez élevés, et, après s'être étendus jusqu'au-dessus de l'extrémité est du village, ils s'arrêtèrent; le tonnerre grondait, et le premier nuage suivait la marche ordinaire, lorsque, vers le midi, un second orage, venant également du sud et marchant assez rapidement, s'avança vers la même plaine et le même monticule. Arrivé vers l'extrémité de la plaine au-dessus de Fontenay, en présence du premier orage qu'il dominait par son élévation, il y eut un temps d'arrêt à distance; sans doute les deux orages se présentaient l'un à l'autre par leurs nuages chargés de la même électricité, et ils agissaient l'un sur l'autre par répulsion.

« Jusque-là le tonnerre s'était fait entendre dans le se-

(1) Compte rendu des séances de l'Acad. des Scienc., 15 et 22 juillet 1839.

cond orage, lorsque tout à coup un des nuages inférieurs, s'abaissant vers la terre, se mit en communication avec elle, et toute explosion parut cesser. Une attraction prodigieuse eut lieu; tous les corps légers, toute la poussière qui recouvrait la surface du sol s'élevèrent vers la pointe du nuage; un roulement continuel s'y faisait entendre; de petits nuages voltigeaient, tourbillonnaient autour du cône renversé, et montaient et descendaient rapidement. Les arbres placés au sud-est de la trombe en furent atteints dans leur moitié nord-ouest qui la regardait; l'autre moitié en fut préservée et conserva son état normal. Les portions atteintes éprouvèrent une altération profonde, dont nous parlerons plus bas, tandis que les autres portions gardèrent leur séve et leur végétation. La trombe descendit dans la vallée à l'extrémité de Fontenay, vers des arbres plantés le long d'un ruisseau sans eau, mais encore humide; puis, après avoir tout brisé et déraciné, elle traversa la vallée et s'avança vers d'autres plantations d'arbres à demi-côte, qu'elle détruisit également. Là, la trombe s'arrêta quelques minutes; elle était parvenue au-dessous des limites du premier orage, et celui-ci, jusque-là stationnaire, commença à s'ébranler et à reculer vers la vallée ouest de Chatenay. Ayant desséché et bouleversé le plant Thibault, elle s'avança, en renversant tout sur son passage, vers le parc du château de Chatenay, qu'elle transforma en un lieu de désolation. Les plus jeunes arbres seulement, placés à l'extrémité en dehors de la trombe, sont les seuls qui restent; les murs sont renversés; le château et la ferme ont perdu leurs toitures et leurs cheminées. Des arbres ont été transportés à plusieurs centaines de mètres; des pannes, des chevrons, des tuiles ont été projetés jusqu'à 500 mètres et plus.

« La trombe, ayant tout ravagé, descendit le monticule vers le nord, s'arrêta au-dessus d'un étang, renversa et dessécha la moitié des arbres, tua tous les poissons, marcha lentement le long d'une allée de saules dont les racines baignaient dans l'eau, et perdit dans ce passage

une grande partie de son étendue et de sa violence. Elle chemina plus lentement encore dans une plaine à la suite; puis, à 1000 mètres de là, près d'un bouquet d'arbres, elle se partagea en deux portions, l'une s'élevant en nuages, et l'autre s'éteignant sur la terre.

« Tous les arbres frappés par la trombe présentent les mêmes caractères : toute leur séve a été vaporisée. Le ligneux est desséché comme si on l'avait tenu pendant quarante-huit heures dans un four chauffé à 150°. Cette quantité immense de vapeur, formée instantanément, n'a pu s'échapper qu'en brisant l'arbre, en se faisant jour de toutes parts; et comme les fibres ligneuses sont moins cohérentes dans le sens longitudinal que dans le sens horizontal, ces arbres ont tous été clivés en lattes dans une portion du tronc.

« Quinze cents pieds d'arbres, ajoute M. Peltier, ont évidemment servi de conducteurs à des masses d'électricité, à des foudres continuelles, incessantes. La température, fortement élevée par cet écoulement du fluide électrique, a vaporisé instantanément toute l'humidité de ces conducteurs végétaux, et cette vaporisation les a fait éclater tous longitudinalement; l'arbre ainsi desséché et ainsi clivé, devenu un mauvais conducteur, ne pouvait plus servir à l'écoulement; et comme il avait perdu toute la force de cohésion, la tourmente qui accompagnait la trombe le cassait au lieu de l'arracher.

« En suivant la marche de ce phénomène, continue M. Peltier, on voit la transformation d'un orage ordinaire en trombe; on voit deux orages en présence, l'un supérieur, l'autre inférieur, se présentant par leurs nuages chargés de la même électricité, le premier repoussant l'autre vers la terre, les nuages en tête du second s'abaissant et communiquant au sol par des tourbillons de poussière et par les arbres. Cette communication une fois établie, le bruit du tonnerre cesse aussitôt. Les décharges ont lieu par un conducteur formé des nuages abaissés et des arbres de la plaine. Ces derniers traversés par l'électricité ont leur température tellement élevée,

qu'en un instant toute leur séve est réduite en vapeur, dont la tension produit entre leurs couches ligneuses le clivage mentionné. Enfin, on a vu des flammes, des boules de feu, des étincelles, accompagner ce météore. Une odeur de soufre est restée dans les maisons plusieurs jours; des rideaux ont été roussis. »

Le docteur Hare a rendu compte, dans l'*American Journal* (avril 1837), d'une trombe qui a éclaté en juin 1836, à sept milles et demi environ de New-Brunswick, et dont la vitesse était de 25 à 30 milles à l'heure. Cette trombe avait aussi l'apparence d'un cône renversé, dont la base était dans les nuages, et le sommet sur la terre. Elle renversa ou emporta tous les objets qui se trouvaient dans l'espace de 100 à 200 mètres qu'elle occupait.

Le tonnerre et les éclairs l'accompagnaient.

Dans quatre lieux différents, tous les arbres étaient couchés, ayant leurs extrémités supérieures dirigées vers un centre commun. Une maison qui se trouvait à l'un de ces centres a été dépouillée de son toit, et toutes les vitres ont été brisées, la plupart des morceaux de verre étant lancés au dehors.

La hauteur apparente de la trombe était d'environ un mille.

Le feuillage des petits arbres paraissait flétri.

Tous les faits ont concouru à démontrer l'existence d'un mouvement convergeant de toutes les directions vers le centre de la trombe, en même temps que celle d'un mouvement de bas en haut.

§ II. *Explication des trombes.*

1628. Les trombes se présentent à nous sous tant de formes diverses, leurs effets sont tellement variés, qu'il n'est pas étonnant qu'il y ait eu autant de théories que d'observateurs. Des effets apparents ont été pris pour des causes productrices par les uns; d'autres leur ont donné pour origine les vents contraires qui les accompagnent. Quelques-uns, ayant remarqué que l'eau était aspirée,

ont supposé une action aspirante là où quelques personnes n'ont vu qu'une chute d'eau provenant des nuées. Enfin des physiciens, retrouvant fréquemment dans ce météore des phénomènes ignés, lui ont attribué une origine électrique. La théorie des trombes est donc encore entièrement à faire. M. Peltier, tout récemment, a repris cette question qu'il a essayé de résoudre, en s'appuyant sur l'observation et l'expérience. Avant d'arrêter ses idées sur la production des trombes, il a rassemblé 116 observations prises dans des recueils scientifiques ou dans des voyages. Il les a réunies en deux tableaux, contenant, l'un 56 trombes de mer, et l'autre 60 trombes de terre. Il a analysé, en outre, les opinions de trente observateurs ou physiciens sur ce météore, puis il les a groupées dans un troisième tableau, avant de se livrer lui-même à quelques expériences dont il sera question ci-après. Je crois convenable de faire connaître d'abord les tableaux de ces observations, attendu qu'il entre dans le plan de cet ouvrage de fournir tous les documents qui peuvent servir à l'étude des diverses parties de l'électricité.

PREMIÈRE DIVISION. — *Trombes de mer et d'eau.*

NUMÉROS.	LIEUX.	ÉPOQUES.	AUTEURS DES RELATIONS.	OBSERVATIONS.
1	Près de l'île Quésomo.....	..... 1664	THEVENOT. Voy. Lev. 2, p. 359.....	Les trombes serpentent; deux d'entre elles se croisent.
2	Près de l'île de Célèbes.....	30 novembre 1687.	DAMPIER. Voyage aut. du monde, ch. 16.	Calme autour; vent violent très-circonscrit; nuage d'abord immobile, puis il se met en marche.
3	Près de l'île de Kosiway.....	28 décembre 1699.	Idem Voy. à la N.-Holl., ch. 3..	Tonnerre, éclairs.
4	Près de la Nouvelle-Guinée..	12 avril 1700.....	Idem Idem ch. 4...	Trombe ne tenant pas à un nuage; rotation.
5	Dans les dunes.....	24 mars 1701.....	P. GORDON, Ph. tr.; vol. 22, 805.....	Vent régulier; mer très-agitée sous la trombe; eau projetée.
6	Mer Méditerranée.....	27 août 1701.....	A. STUART Idem vol. 23, p. 1077..	Pas de mouvement giratoire, le bruit cesse aussitôt que la communication est complète entre le nuage et la mer.
7	En mer.....	29 avril 1716.....	LE GENTIL DE LA BARBINAIS. Voy. aut. du monde, 1733.....	Six trombes à la fois; bruit sourd et sifflement; vent égal et léger.
8	En mer.....	21 mai 1732.....	J. HARRIS. Ph. tr. 1734, vol. 28, p. 77...	Calme autour. Sous le cône l'eau rejaillit.
9	Méditerranée.....	..... 1736	SHAW. Voy. en Barbarie, 2, 55.....	Il pense que l'eau tombe des nues.
10	Lac de Genève.....	Octobre 1741.....	JALLABERT. Mém. Ac. de Paris, 1741, 20.	Temps calme autour.
11	..... Idem	9 juillet 1742.....	Idem Idem 1767, p. 412.	L'eau monte par élancements; pas de mouvement giratoire.
12	Deeping feen.....	5 mai 1752.....	B. RAY. Ph. tr., 47, 479.....	Rayon de feu au moment de sa rupture vu par quelques témoins.
13	En mer.....	De 1749 à 1753....	ADANSON. Voyage au Sénégal, p. 123...	Odeur nitreuse; vapeurs sortant des habits; giration.
14	Antigoa.....	.....	Dr M-R. Lett. Frank., p. 241; Édition de 1774.....	Eau lumineuse; maisonnette transportée contre le vent.
15	En mer.....	.....	FRANKLIN, 20e lettre, p. 227.....	Calme d'abord, puis courant vers la trombe.
16	Harlem.....	14 juin 1754.....	SIGAUD DE LA FOND. Diction. physique..	Eau enlevée à 60 pieds.
17	Mer des Indes occidentales...	Août (avant 1756)..	MELLING. Trans. am. ph. soc. 1786. Vol. 2, p. 335.....	Eau douce tombant de la trombe.
18	Détroit de Gibraltar.....	Août (avant 1756).	J. WAKEFIELD. Trans. am. ph. soc. 1786, vol. 2, p. 335.....	Eau descendant de la trombe; vent faible sous la trombe.
19	En mer.....	..... Idem	J. HOWLAND..... Ibid.	Eau descendante.
20	Détroit de Malaca	Idem	[illegible]	[illegible]

25	Limay	23 juin 1764	Du Bourdieu. Mém. Ac. P. 1764, p. 32.	Tonnerre avant, grêle après.
26	Détroit de la Reine Charlotte.	17 mai 1773	Cook et Forster. Obs. Forster., p. 109.	Giration; éclair au moment de la rupture; grêle.
27		29 octobre 1773	Idem	Aucun détail.
28	Nice	12 avril 1780	Michaud. J. Ph. Roz., 30, p. 284	Aucun mouvement giratoire; ascension de l'eau par élancements; panaches entre les parties séparées; la trombe est inclinée du sud au nord, quoique sa marche était de l'est à l'ouest. Neige en grenaille.
29	Près l'île de Cuba	12 avril 1782	Baussard. J. Ph. Ann. 1798, vol. 46, 348.	Sans nuages d'abord; il s'en forme ensuite; giration, tonnerre.
30	Cap Vert	7 septembre 1783.	Isert. Voyage en Guinée, p. 9	Giration.
31	Mer Adriatique	23 août 1785	Spallanzani. M. della Soc. ital., 1, 473.	Nuage tourbillonnant; éclairs, tonnerre, plusieurs trombes; cavité dans la mer sous le cône; calme, etc.
32	En mer	24 mai 1788	Buchanan. Ed. ph. j. 5, 275	Pas de mouvement giratoire; vapeur ascendante.
33	Nice	6 janvier 1789	Michaud. M. Ac. Turin, 1788 et 1789, vol. 9, pag. 3	Projection d'eau et de vapeur de l'enveloppe; pas de mouvement giratoire; grêle et neige glacée.
34	Idem	Idem	Idem	Neige à peine gelée.
35	Idem	19 mars 1789.	Idem	Tonnerre, neige.
36	En mer	8 janvier 1789	Buchanan. Ed. Ph. j. 5, 275	Deux nuages superposés. Trombe ayant trois origines.
37	Idem	12 avril 1789	Idem	Mer agitée sous le cône éloigné; vent très-faible.
38	Lac Léman	1er novembre 1793.	Wild. J. Ph. 1794, v. 44. 39	Il neigeait de chaque côté de la trombe; le lac paraissait creusé au-dessous.
39	Ile de Ténériffe	22 novembre 1796.	Baussard. J. Ph. 1798, v. 46, 348	Pas de giration; l'eau s'élève avec régularité.
40	Mississipi	1800	Dunbar. Bibl. Brit., 38, 101	Pas de tourbillon.
41	En mer	6 septembre 1814.	Napier. Ed Ph. j., 6, 95	Giration; la trombe marche en sens inverse du vent; séparée par un boulet de canon, les deux bouts flottent incertains, puis ils se réunissent; l'eau provenant de la trombe était douce.
42	Océan Atlantique	Mai 1820	Ogden. Am. J. of sc., janvier 1836.	Sept trombes à la fois; le bas d'une trombe s'écarte du vaisseau; giration, feu, tonnerre, eau douce.
43	En mer		Maxwell. Ed. Ph. j., 5, 39	Vapeur montant dans l'intérieur.
44	Cap Blanc-Nez	1er septembre 1822.	Ann. Ch. ph. 1822, 21, 409	Nuages superposés; la trombe ne touche pas à la mer; pas de giration; gerbe de sable.

Suite des Trombes de mer ou d'eau.

Numéros.	LIEUX.	ÉPOQUES.	AUTEURS DES RELATIONS.	OBSERVATIONS.
45	Roseneath	18 septembre 1822.	Ann. Ch. ph. 1822, 21, 400,	Calme autour; giration.
46	En mer	19 mars 1823.	Ibid.	Calme complet.
47	Côte de la Floride	5 avril 1825.	Lincoln. Am. Jour., avril 1828.	Convexité au vent; l'extrémité ne touchait pas la mer; mouvement d'ondulation; un coup de tonnerre suivit.
48	Ile Clermont-Tonnerre	Janvier 1826.	Beechey. Voy. au détroit de Behring, I, 148.	Giration; 3 cônes du même pavillon, puis réunis, puis redivisés. Éclairs, tonnerre, boule de feu.
49	Mer de Sicile	27 juin 1827.	Mazzara. Lithographie d'Ingelmann.	Sept trombes à la fois; la 4e fait un tour de spire.
50	Lac de Genève	11 août 1827.	Ann. Ch. Ph. 1827, v. 36, p. 415.	Pas de giration; ondulations.
51	Lac de Neufchâtel	9 juin 1830.	Bibliot. univ. 1830, juin.	Pas de giration.
52	Méditerranée	10 juin 1830.	Élem. géog. Lecoq, 468.	Décharges nombreuses d'électricité.
53	Canal de Bahama	30 juillet 1832.	Page. Echo m. sav. 1, n° 176.	Vent faible; trombe descendante; pas de giration visible; dans une seconde trombe, tonnerre, éclairs.
54	Lac de Genève	3 décembre 1832.	Mayor. Bibliot. un. 1832, vol. 51, 321.	Pas de nuages; giration.
55	Côtes d'Espagne	....	Page. Echo m. sav. 1, 176.	Ciel sans nuages; sept trombes.
56	Près de Douvres	23 octobre 1836.	Page. Echo m. sav. 1836, nos 45 et 181.	Oscillations, éclairs.

SECONDE DIVISION. — *Trombes de terre.*

1	Italie	22 ou 24 août 1456.	Machiavel, histoire flor., liv. VI. Ammirati, histoire florent., liv. XXIII.	Trombe de nuit; nues parasites montant et descendant directement et parfois tourbillonnant sur elles-mêmes; décharges électriques entre ces nuages; objets enlevés, transportés sans être renversés; effets bien évidents d'électricité statique.
2	France	Septembre 1669.	Du Hamel. Phil. vet. nov. 5, météor. 7; Paris 1700.	Trombe de nuit.
3	Angleterre, Hatfield	15 août 1687.	De la Pryme. Phil. tr., an. 1702, p. 1248.	Mouvement giratoire; ascension d'eau.
4	Topsham	7 août 1694.	Mayne Idem vol. 19, p. 28.	Mouvement giratoire intérieur; pommier

10	Montpellier	2 novembre 1729.	SERRES et GUETTARD. M. Sc. R. Montp., p. 2, 24.	Vive lumière; odeur de soufre; tourbillon.
11	Corne-Abbas	30 octobre 1731	DEBBY. Ph. Tr., 41, 229.	Calme complet autour.
12	Holkam	Août 1741	LOVELL Id. 42, 183.	Calme; ciel pur, feu, flamme.
13	Dans le Huntingtonshire	8 septembre 1741.	FULLER. Id. 41, 851	Mouvement de rotation. Calme avant et après.
14	Rome	11 au 12 juin 1749.	BOSCHOVICH. Dissertation. Rome, 1749.	Éclairs, tonnerre, flamme; carrelage soulevé, murs percés; d'autres renversés contre le vent; odeur de soufre, feuilles roussies, lampe promenée sans être éteinte, etc.
15	Venise		Idem	Cinq hommes enlevés d'une barque.
16	Cuba		Idem	Deux hommes enlevés et une barque.
17	Mirabeaux		Idem	Deux grands trous au plancher d'un grenier, et un petit trou dans le foyer, grand comme trois doigts.
18	Vérone	28 juillet 1686	Idem	Bateau chargé, enlevé.
19	Arezzo		Idem	Sillons sur la terre; deux hommes enlevés et déposés sans blessures.
20	Rutlang	15 septembre 1749.	BARKER. Ph. Tr., 46, p. 248.	Feu, éclairs, calme avant et après; eau d'une rivière aspirée. Mouvement giratoire.
21	Berkoude	24 juin 1750	MUSCHENBROEK. Cours ph., ch. 42	La trombe se forma pendant un orage.
22	Malte	29 octobre 1757	CHABERT. Mém. Ac. P., 1758, p. 19. BRYDONE. Arch. île de France, n° 11	Dalles d'une plate-forme soulevées; canons retournés; flamme, trombe de nuit.
23	Nouvelle-Angleterre	10 mai 1760	WINTHROP. Ph. Tr., 1761, v. 52, 6.	Météore igné se comportant comme une trombe.
24	Leicester	10 juillet 1760	Ibidem	Orage transformé en trombe; arbre porté en sens contraire du vent; son intensité augmentée par une mare d'eau, au fond d'un ravin.
25	Oxford	21 septembre 1760.	SWINTON. Ph. Tr. 1761, v. 52, p. 99.	Trombe en demi-cercle.
26	Salisbury	14 août 1773	S. WILLIAMS. Tr. Am. Ph. Soc., t. 2, 436.	Bouillonnement de la rivière; second ouragan à dix milles sur la même rivière.
27	Arcachon	14 mars 1774	BUTET. J. Ph. Roz. 7, 334	Feu, foudre, odeur de soufre, grêle, herbes roussies, nuages parasites montant en ligne droite; pas de mouvement giratoire extérieur; mouvement giratoire intérieur quelquefois.
28	Orbassan	19 avril 1775	M. Ac. Toul., t. 2, p 21.	Aucun détail.
29	Eu	16 juillet 1775	ROZIER. J. Ph. 7, 70.	Cette trombe présente tous les effets possibles de l'électricité statique et dynamique; des tourbillons parfois; la terre sillonnée, etc.
30	Montagne d'Alaric	6 août 1776.	MEARCORELLE. M. Ac. Toul., t. 3, 114.	

Suite des trombes de terre.

NUMÉROS.	LIEUX.	ÉPOQUES.	AUTEURS DES RELATIONS.	OBSERVATIONS.
31	Dijon	20 juillet 1779	MARET. M. Ac. Dijon 1783, 152	Coup de tonnerre au moment de sa formation ; pas de mouvement giratoire d'abord ; rotation imprimée par un choc. Marche en sens inverse du vent.
32	Carcassonne	3 novembre 1780.	LESPINASSE. J. Ph. Rez., 16, 355	Très-curieuse ; jets de sable, pavé enlevé ; chambre décarrelée au centre sans déranger les objets placés autour ; pas de mouvement giratoire.
33	Escale	15 juin 1785	M. Ac. Toul., 3, 115	Air calme à l'origine, éclairs, tonnerre, foudre, grêle ; tous les effets de l'électricité statique.
34	Marliac	13 juin 1787	D'ARBAS Id. 4, 77	Calme, étincelles, disque enflammé, se termine par un coup de tonnerre ; feuilles desséchées et brûlées.
35	Au Pérou	Vers 1802	DE HUMBOLDT. Tab. nat., I, 43 et 177	Trombe de sable.
36	Près et dans Paris	16 mai 1806	LAMARCK. Ann. météor., 1807	Orage, tonnerre, puis trombe ; faible giration.
36	Près et dans Paris	16 mai 1806	DEBRUN, Mém. sur les trombes	Deux trombes, orage, tonnerre, puis trombe ; tube transparent ; faible giration ; autre trombe, pas de giration : mouvement ascensionnel ; orage voisin marchant dans un sens contraire, et les nuages de la trombe dans un autre : calme parfait autour.
37	Pays des Illinois	4 juin 1814	GRISWOLD. Annuaire 1838, 435	Éclairs le long de la trombe.
38	Flacq, île Maurice	5 février 1815	MALLAC. Arch. Ile de France, n° II	Rotation, sillons, absorbe les eaux, varie de diamètre selon la conductibilité du terrain.
39	St.-Angelo	14 août 1817	Jour. Com., 18 sept. 1817	Absorbe les eaux ; linge troué et brûlé.
40	Foix	9 mai 1822	An. ch. ph. 1822, 407	Grêle.
41	Régneville	16 juin 1822	Id.	Le bruit diminue lorsqu'elle passe au-dessus de l'eau.
42	Assonval	6 juillet 1822	Id. t. 24, 433	Globes de feu, explosion, tonnerre, giration, tourne lentement ; ricochets ; les murs d'une maison renversés en dehors.
43	Rouvier	26 août 1822		Tonnerre, grêle, feuilles desséchées, corps

				fonds et murs percés, sillons; odeur de soufre.
48	Ruwer	25 juin 1829	GROSSMAN. An. ch. ph., 42, 420	Masse lumineuse marchant en sens contraire du nuage; flammes lancées du cône; eau projetée en colonne; marche lente; homme pris par la trombe, tiré tantôt en avant, tantôt soulevé; deux courants contraires; odeur de soufre; orage aussitôt que la trombe est rompue; grêle, calme parfait.
49	Gorschoff	15 août 1829	An. ch. ph., 42, 419	Calme, grêle.
50	Près le Gange	De 1831 à 1834	STEPHENSON. Bib. univ. 1836, 6, 155	Trombes de sable; mouvement giratoire, pas de nuages; l'atmosphère reste pure.
51	Près de Bronte	1er octobre 1834	ELIE DE BEAUMONT	Mouvement de rotation, deux cônes joints par les sommets.
52	La Française	27 juillet 1835	Echo du m. sav., 1835, n° 73.	Un orage en s'affaiblissant fut remplacé par une colonne de feu.
53	Mornay	Septembre 1835	MAUDUIT. Id. n° 83	Eau d'une rivière enlevée comme une colonne.
54	Caux	13 septembre 1835.	Id. nos 80 et 83	Toute l'eau d'une mare enlevée ainsi que les poissons.
55	Trebeurden	Nuit du 29 au 30 janvier 1836	Id. 1836, n° 7	Trombe de nuit et d'hiver.
56	New-Brunswick	Juin 1836	HARE. Am. J. Sill., avril 1837	Arbres dans l'axe renversés comme la marche de la trombe, ceux de côté couchés vers l'axe; murs renversés en dehors; elle verse de la bone; tonnerre, feuilles flétries.
57	Baltimore	14 juin 1837	Echo m. sav., 1837, n° 99	Tonnerre, calme.
58	Chatenay	18 juin 1839	PELTIER	Tonnerre avant, cessation aussitôt la trombe formée; calotte de feu au sommet inférieur; flamme; pas de mouvement giratoire d'abord; nuages parasites allant et venant le long de la trombe; arbres couchés d'abord dans le sens de la marche; puis ceux sous la trombe en tout sens; ceux en dehors, vers la trombe. Feuilles roussies, arbres clivés. Poissons tués, etc.
59	Petit Montrouge	1er septembre 1839	PELTIER	La nuit, orage transformé; sillons; 40 mètres de mur renversés sans rupture; fondations fouillées.
60	Entre deux nuages	31 juillet 1808	LAMARCK. Ann. mét., 1809	Trombe entre deux groupes de nuages.

LISTE *d'auteurs qui ont indiqué la cause des trombes.*

Auteurs qui font provenir les trombes d'un tourbillon de vent ; mais chacun d'eux explique différemment la cause du vent, sa marche et son effet sur les nuées. Ceux qui font provenir le tourbillon de vents contraires, supposent une chose impossible; c'est que la force tangentielle du tourbillon dilatera plus l'air intérieur, que la force de pression extérieure qui sert à le former, ne le comprimera.	Stuart,.. ...	Ph. Tr., vol. 23, 1077.
	Andoque.....	M. Ac. P., 1727, 50.
	Guettard....	M. Soc. Roy. Montpellier, 2, 24.
	Shaw.....	Voyage en Barbarie, 2, 55.
	Boschovich..	Sopra il turbine, etc. Rome, 1749.
	Franklin.....	Letters, etc., 20e livre.
	Muschenbroek.	Cours de phys., ch. 42, § 2381-2385.
	Forster.....	Observations, etc., 109.
	Rozier	Jour. phys., 7, 70.
	Perkins.....	Trans. am. ph. soc. 1786, 2, 335.
	Spallanzani..	Mém. della soc. ital., 4, 473.
	Oliver.....	Tr. of the am. ph. soc. 1786, 2, 101.
	Lamarck.....	Annuaire météorologique de 1807.
	Monge.....	Ann. de chimie, 5.
	Napier.....	Ed. ph. jour., 6, 95.
	Defrance....	Dict. sc. nat., art. trombes.
	De Maistre..	Bibl. un., 1832, vol. 51 (3), 226.
	Page.....	Écho du monde savant, 1, 176.
	Ogden.....	Amer. journ. of sc., janv. 1836.
Auteurs qui font intervenir l'électricité, sans spécialiser les faits appartenant à l'électricité.	Brisson.....	M. Ac. P., 1767, p 11.
	Lacépède....	Essai sur l'électricité, 2, 332.
	Michaud.....	J. ph. Roz., 30, 284. Mém. Ac. Turin, 9, 3.
	Young.....	Leçons de phys., leçon 57e, vol. 1, p. 716.
	Humboldt....	Tabl. de la nature, 1, 43 et 177.
	Bechhey.....	Voyage au détroit de Beering, 1, 148.
	Horner.....	Gilbert, tom. 73, p 95.
	Hare.....	Amer. jour. Sill., avril 1837.
Auteurs qui les font provenir d'éructations souterraines.	Lemery.....	Cours de chimie.
	Buffon.....	Histoire naturelle, 1re partie.
Les trombes ne sont qu'une forte averse.	Eeles.....	Ph. Trans., an. 1755, v. 49, 147.

Parmi les 116 trombes dont il vient d'être question, il y en a 29 qui ont été notées comme ayant eu un mouvement giratoire, continu ou seulement pendant une partie de leur durée. Dans ce nombre il y en a 11 de mer et 18 de terre. 22 trombes n'ont présenté aucune agitation intérieure, savoir : 9 de mer et 13 de terre.

41 ont été accompagnées d'éclairs, de tonnerre ou de phénomènes lumineux quelconques, savoir : 16 de mer et 25 de terre.

10 ont transporté des objets contre le vent; 16 ont donné de la grêle, dont 7 de mer et 9 de terre.

6 trombes se sont évanouies dans une atmosphère sans nuages, sans qu'elles eussent été précédées d'aucune tourmente.

3 trombes de mer ont inondé d'eau douce les vaisseaux qui se sont trouvés sur leur passage, quoique le météore fût ascendant.

3 trombes ont permis de voir la dépression de la surface des eaux.

2 trombes ont servi d'intermédiaire entre deux groupes de nuages.

Dans 15 trombes on a vu l'eau monter, et, dans 8, l'eau descendre.

Dans 8 on a senti l'odeur du soufre.

Dans 6 cas on a observé plusieurs trombes au même instant.

34 ont présenté des particularités remarquables. Bachanan en a dessiné une qui avait trois origines.

Le capitaine Beechey en a observé une qui avait trois cônes (fig. 8) sortant du même pavillon, lesquelles se réunirent bientôt pour se diviser ensuite. Enfin celle de Carcassonne a décarrelé une chambre sans renverser aucun des objets qui s'y trouvaient.

Les trombes marines ont manifesté leur formation par l'agitation de l'eau et par les vapeurs nombreuses qui s'en élevaient; celles de terre, par l'enlèvement des corps légers qui s'y trouvaient. Le bruit enfin a varié suivant la nature de la trombe. Il était plus fort sur terre que sur mer.

1629. M. Peltier a cherché à prouver que tous ces effets se rattachent aux phénomènes d'électricité statique ou dynamique. Nous verrons plus loin les preuves qu'il apporte à l'appui de son assertion.

Sur trente auteurs dont il a recueilli les opinions,

dix ont attribué le phénomène à des courants d'air, huit l'ont fait dépendre de l'électricité, sans expliquer comment il pouvait être produit; deux ont supposé des feux ou éruptions sous-marines.

Il résulte des relations que j'ai mentionnées, que, pendant l'apparition du phénomène, la trombe est agitée dans un espace très-limité, que des vapeurs s'en élèvent et forment un cercle fuligineux alentour.

Au centre de ces cercles on a observé trois fois une dépression de plusieurs pieds. Quelquefois, au contraire, on a vu l'eau des mares enlevée entièrement. Enfin, le phénomène est purement local, et les parties voisines où il se manifeste restent dans un calme plat.

Pour représenter ces différents effets, M. Peltier a remplacé un nuage par un globe de métal qui était constamment chargé d'électricité au moyen d'une machine électrique toujours en mouvement, et ses inégalités par des pointes; au moyen de l'influence que ce corps électrisé exerce sur l'eau, sur les vapeurs et sur les poussières, il a pu reproduire la dépression du liquide; il s'est formé aussitôt, du centre à la circonférence, des courants directs qui se sont transformés en un mouvement giratoire produit par des résistances inégales. En déplaçant ces dernières, on a rétabli le courant ou on l'a renversé.

Tous ces effets disparaissent quand on remplace les pointes par une boule polie. Dans ce cas on obtient, au lieu d'une dépression, un bouton saillant, comme Brisson l'avait déjà observé.

En faisant naître des vapeurs au-dessous de la boule polie, les vapeurs paraissent éprouver peu d'action; seulement elles semblent monter un peu plus rapidement. Quand la boule est remplacée par le faisceau de pointes, M. Peltier a cru remarquer que la quantité de vapeur devient trois fois plus considérable; il a même fait des expériences pour le prouver. L'augmentation de l'évaporation de l'eau par la tension électrique avait déjà été observée par Beccaria, qui, ayant fait l'expérience avec des corps unis, avait été obligé d'électriser l'eau pendant des heu-

res entières pour obtenir une petite quantité de vapeur. Au moyen de pointes, le phénomène est plus visible, surtout quand l'eau placée au-dessous est chaude. On peut encore évaluer l'évaporation par le froid qu'elle produit; en faisant l'expérience avec de la vapeur de résine, on peut se faire une idée des courants d'air produits dans ces circonstances.

Les globules vésiculaires étant électrisés à distance par les pointes, sont chassés de suite dans tous les sens, puis on les voit tourbillonner en nuages, suivant le degré de la charge électrique. Cette expérience, qui est très-simple, reproduit plusieurs effets des trombes, comme dépression au centre, vapeurs tourbillonnantes et courants d'air.

Si la tension est puissante et le rayonnement faible, il y a attraction du liquide et l'eau s'élève en masse. Pour obtenir ces effets, il suffit de transformer la boule polie de Brisson en un faisceau de pointes.

1630. Passons à d'autres expériences qui ont été faites souvent dans les cours publics, sans qu'on ait songé à en tirer parti pour l'explication des trombes.

On place entre un plateau de cuivre inférieur non isolé et une sphère supérieure une petite boule légère, qui va de l'un à l'autre lorsque la sphère est électrisée. Mais si l'on remplace la petite boule par des corps successivement allongés et plats, de manière à ne plus présenter à la fin qu'une bande longue et étroite d'or battu, le mouvement primitif de va-et-vient est transformé en mouvement oscillatoire et en un tourbillonnement qui se termine par un mouvement rapide de rotation entre les deux corps. Voilà donc des mouvements giratoires qui ont pour cause le rayonnement électrique. Voici maintenant les conséquences que M. Peltier tire de ces faits, qu'il a étendus en variant les expériences:

1° Tous les phénomènes directs qu'on observe dans les trombes sont dus à l'électricité. Ces phénomènes produisent eux-mêmes des phénomènes secondaires qui les accompagnent presque toujours. Ces derniers varient suivant les localités et l'état de l'atmosphère.

2° Les effets directs ou généraux sont dus à l'électricité statique ou à l'électricité dynamique : le plus souvent ils proviennent de l'une et de l'autre.

3° Les effets statiques sont des phénomènes d'attraction et de répulsion.

4° L'attraction d'un nuage électrique est accompagnée du refoulement de l'air vers ce nuage, d'où résultent des courants cheminant de l'extérieur à l'intérieur et partant de tous les points de la circonférence ambiante; elle se manifeste encore par la projection de la vapeur d'eau, de l'eau liquide, de corps légers ou pesants qu'elle enlève ou arrache suivant la puissance de la force agissante.

5° On suit facilement, au-dessus de la mer, ainsi que sur la terre, la marche de cette puissance attractive. Dans le premier cas, il y a bouillonnement des eaux, masse fuligineuse qui s'en élève (fig. 20 et 21), etc. Dans le second cas, soulèvement et entraînement de tous les corps légers, de l'air, des terres meubles, etc.

6° L'attraction des nuages est encore prouvée par une accélération prodigieuse dans l'évaporation des eaux, par l'abaissement de la température qui en résulte, etc., effets qui sont mis également en évidence par l'expérience.

La répulsion est prouvée par les courants d'air qui proviennent du nuage électrique et qui ne se font sentir que dans son voisinage. A peu de distance il règne un calme plat. Ces doubles courants éprouvent de nombreuses modifications en raison des localités et des accidents du terrain.

Pour imiter ces effets, il suffit de placer les poussières et les vapeurs sur des corps plus ou moins inégalement conducteurs, ou bien présentant des aspérités plus ou moins saillantes.

7° La répulsion se prouve encore par le cône rentrant qui se forme dans la mer, au centre même des vapeurs fuligineuses; effets que l'on reproduit avec facilité dans les expériences.

8° Si l'action par influence a lieu entre des nuages chargés d'électricité contraire, placés à une certaine distance, une portion de leurs vapeurs vésiculaires reprend l'état de vapeurs ordinaires. Cette nouvelle évaporation abaisse la température des parties voisines, laquelle peut descendre jusqu'au-dessous de zéro. Alors la vapeur d'eau cristallise en flocons neigeux qui agissent aussitôt après leur formation comme des corps légers. La portion ainsi transformée en neige, et qui est chargée de l'électricité du nuage inférieur, est attirée par le nuage supérieur : alors il y a neutralisation d'électricité, abaissement de température, et ainsi de suite.

9° Enfin la tension électrique du nuage supérieur facilite l'évaporation du liquide qui mouille le globule neigeux ou celui déjà recouvert de glace.

M. Peltier essaye ensuite de montrer, en s'appuyant sur les mêmes principes, comment la grêle peut se former, et quelles sont les principales circonstances qui accompagnent la production de ce phénomène; mais, comme je ne m'occupe ici que des trombes, je n'entre dans aucun détail à cet égard. Je dirai seulement que les bases de cette théorie sont celles de Volta, comme le reconnaît M. Peltier, qui n'a fait que compléter la manière de voir de ce grand physicien. Je continue à rapporter les conséquences qu'il a tirées de ses expériences pour interpréter les trombes.

Les nuages électrisés exerçant une action par influence sur le sol, provoquent naturellement une attraction entre eux. Les nuages obéissent alors à cette action et s'approchent de la terre d'une quantité dépendante du pouvoir attractif et de leur pesanteur spécifique.

Lorsque la tension des nuages et leur densité, peu différente de celle des couches d'air inférieures, ou bien encore lorsque des nuages supérieurs, ayant la même électricité, viennent agir sur les premiers par répulsion, les nuages placés au-dessous et qui sont repoussés, peuvent approcher de la terre suffisamment pour s'y dé-

charger sans explosion, par l'intermédiaire d'autres nuages qui touchent le sol et servent de conducteurs.

Il arrive souvent que tous les corps placés à la surface de la terre, sous ces nuages, qui, dans le cas actuel, ont la forme d'un cône renversé, servent de conducteurs, selon leur conductibilité, leur forme, leur étendue, leur contact avec le sol. Les corps légers ou de peu de volume, chargés d'électricité contraire, sont attirés et soulevés vers la trombe; quand leur électricité est neutralisée, ils retombent sur la terre pour se charger d'une nouvelle quantité d'électricité, puis remontent, et ainsi de suite. C'est ainsi que se forme au-dessous du cône un immense nuage de poussière. Si les corps sont attachés à la terre, comme les arbres, etc., ils se chargent instantanément d'une immense quantité d'électricité. La terre, qui est contiguë, partage cet état électrique; elle cède à l'action attractive de la trombe, les arbres sont arrachés et transportés au loin. C'est de cette manière que sont arrachés les corps qui sont en quelque sorte scellés dans la terre, tandis que les corps voisins n'éprouvent aucun dommage. Tous les effets varient, bien entendu, suivant la conductibilité de ces corps et celle des diverses parties du terrain. Quand ces derniers, qui sont à la surface de la terre, sont conducteurs, ils éprouvent des effets d'électricité dynamique.

Si la faible densité des nuages s'oppose à un abaissement suffisant pour produire un écoulement continu d'électricité, alors des décharges à distance ont lieu, l'éclair sillonne les nuages et la foudre se fait entendre. La tension électrique diminue successivement, la pluie survient et le nuage se relève. Le tonnerre cesse de se faire entendre dès l'instant qu'une conductibilité suffisante est établie entre le sol et les nuages.

D'après la théorie que je viens d'exposer et qui me paraît reposer sur des bases assez rationnelles, une trombe est un conducteur imparfait entre des nuages orageux et la terre, lequel conducteur produit des effets de courant et des effets de tension.

M. Peltier a cherché ensuite à expliquer le bruit qui accompagne quelquefois l'apparition des trombes, en l'attribuant à une multitude de petites décharges partielles dont nous ne nous rendons pas bien compte. Ces bruits doivent varier, suivant lui, avec la conductibilité des substances. Ils sont plus forts à l'extrémité des trombes qui traversent les campagnes à cause des poussières, des terres meubles qui terminent inférieurement le conducteur. Ils perdent de leur intensité au-dessus de la mer, en raison de la meilleure conductibilité des particules aqueuses et de leur égale distribution.

En s'appuyant sur la marche de l'air dans les diverses actions attractives et répulsives auxquelles elle est soumise, et en ayant égard à la rencontre de courants contraires et d'inégale force, d'obstacles divers, il cherche à expliquer comment le mouvement direct imprimé à l'air se change en un mouvement giratoire plus ou moins prononcé. Il en résulte que le même météore peut offrir, à divers instants, des exemples de mouvements directs, plus ou moins altérés, et enfin giratoires.

Les actions électriques par influence sur l'eau produisent des effets dont nous avons parlé précédemment et qu'on retrouve dans la nature. Si le corps est régulier, ou s'il agit à une distance telle que la décharge électrique ne puisse s'effectuer suffisamment, il en résulte une attraction du liquide qui se trouve alors dans un état électrique contraire. L'eau s'élève en boutons coniques, et s'abaisse aussitôt que la décharge s'est effectuée. Si au contraire le corps électrisé est couvert de pointes ou d'aspérités favorables au rayonnement électrique, et si alors l'eau reçoit une quantité considérable d'électricité, il s'établit alors dans l'eau un phénomène analogue à celui de l'air : les couches supérieures recevant plus d'électricité qu'elles n'en peuvent écouler, sont repoussées par le corps ou le nuage électrique, et se refoulent elles-mêmes les unes les autres. Il se fait alors une dépression au-dessous, qui est bientôt remplacée par les couches infé-

rieures. Il en résulte des courants directs qui se changent bientôt en un mouvement giratoire, comme ceux que l'expérience indique dans les vapeurs ou dans l'air.

M. Peltier part du même principe pour expliquer l'évaporation successive de l'eau des mares, et même de la masse d'eau entière, quand les tensions électriques sont suffisantes. Dans ce cas, ces masses d'eau sont enlevées comme les arbres, les tuiles, etc.

L'écoulement d'une certaine quantité d'électricité à travers un liquide, quand il se fait sans choc, ne paraît pas affecter les animaux qui y vivent, à moins que cet écoulement n'élève considérablement la température; mais si au lieu d'un simple écoulement, il s'opère une décharge d'une intensité suffisante, la plupart des poissons sont foudroyés, soit par un effet direct, soit par un effet de choc en retour. Aussi remarque-t-on quelquefois que lorsque les poissons d'un étang ont été tués, il y a eu une décharge électrique à distance.

Les effets mécaniques de l'électricité se montrent aussi bien dans ces météores que les effets statiques; si les corps fixés au sol sont armés de pointes ou de tout autre conducteur, ils rayonnent vers le nuage une électricité contraire. Cette dernière est plus ou moins abondante, selon la conductibilité du corps et son contact avec un corps humide; selon les circonstances, il peut en résulter un courant suffisant pour élever la température des portions les plus résistantes. S'il s'agit de plantes humides, l'élévation de température peut vaporiser toute la séve. Cet effet se retrouve dans les relations détaillées des trombes, où il est dit que les feuilles des plantes ont été desséchées, crispées et grillées sur les bords.

Mais lorsque les nuages sont assez abaissés pour fournir une grande quantité d'électricité, ils se mettent en communication avec les arbres qui servent à l'écoulement de l'électricité. Leur température s'élève suffisamment pour vaporiser à la fois toute la séve. Quand la force répulsive de l'électricité est plus grande que la résistance des tissus, l'arbre est clivé dans les endroits qui offrent

le moins de résistance; d'autres sont brisés en éclats plus ou moins longs. Toute trace d'humidité disparaît immédiatement, et l'on croirait ces arbres desséchés par une forte chaleur. Les observations que je viens de présenter sont de nature à faire considérer les trombes comme ayant une origine électrique, du moins celles qui établissent une relation entre les nuages et la terre. Il est à croire que de nouveaux faits viendront donner de la force à cette théorie.

CHAPITRE V.

DES AURORES BORÉALES.

§ Ier. *Description du phénomène.*

1631. L'AURORE boréale est un des phénomènes naturels qui ont le plus excité la sagacité des physiciens. Les uns pensaient que la lumière qui l'accompagne était produite par la réfraction des rayons solaires; d'autres eurent recours au fluide magnétique. Euler crut que la matière de l'aurore boréale était la même que celle de la queue des comètes; Mairan s'imaginait qu'elle résultait du mélange de l'atmosphère du soleil avec celle de la terre. Mais, aussitôt que les propriétés de la lumière électrique eurent été connues, toutes ces hypothèses furent abandonnées; Eberhart, professeur à Hall, et Paul Frisi, à Pise, furent les premiers qui proposèrent d'expliquer l'aurore boréale par l'électricité, en s'appuyant sur les faits suivants : 1° L'électricité qui passe dans le vide s'y montre sous les mêmes apparences lumineuses que celles que l'on observe dans l'aurore boréale; 2° l'air devenant moins dense à mesure qu'il s'élève au-dessus de la surface de la terre, les décharges électriques dans les régions supérieures doivent présenter les mêmes apparences que dans des tubes remplis d'air plus ou moins raréfié. Les idées d'Eberhart et de Paul Frisi furent adoptées par Canton, Beccaria, Vilke, Franklin, etc., qui y apportèrent néanmoins quelques modifications.

Mais, depuis qu'il a été constaté par une foule d'ob-

servations faites sur divers points du globe, que les aurores boréales réagissent sur l'aiguille aimantée, non-seulement dans les lieux où elles sont visibles, mais encore dans les contrées qui en sont éloignées, il n'est plus permis de douter qu'elles n'aient une origine électrique, quoiqu'on ignore encore en quoi consiste cette origine. Je vais donc exposer ici les phénomènes des aurores boréales, considérés comme phénomènes électriques, avec tous les développements nécessaires pour mettre à même les physiciens d'en connaître toutes les particularités.

L'aurore boréale est un météore lumineux qui apparaît quelquefois après le coucher du soleil, vers le nord, rarement vers le couchant, et plus rarement encore vers le midi; tantôt il se présente près de l'horizon comme une lueur vague, ayant de la ressemblance avec celle de l'aurore qui précède le lever du soleil; d'autres fois sous la forme d'une nuée sombre d'où partent des fusées lumineuses, quelquefois diversement colorées et qui éclairent alors toute l'atmosphère. Telles sont les apparences principales qu'on observe dans ce météore. Mais, pour en avoir une idée plus nette, je vais rapporter les observations d'aurore boréale, faites par des hommes dignes de foi, qui ont eu l'occasion de les étudier.

Mairan, dans son *Traité des Aurores boréales*, dit que les grandes aurores boréales commencent peu de temps après la fin du crépuscule. On aperçoit d'abord un brouillard assez obscur vers le nord, avec un peu plus de clarté vers l'ouest que dans le reste du ciel. Le brouillard prend à peu près la forme d'un segment de cercle, s'appuyant de chaque côté sur l'horizon. La partie visible de la circonférence est bientôt entourée d'une lumière blanche qui donne naissance à un ou plusieurs arcs lumineux. Viennent ensuite des jets et des rayons de lumière diversement colorés, qui partent du segment obscur où il se fait quelques brèches éclairées qui annoncent un mouvement de fluctuation dans la masse.

Quand le phénomène a pris une certaine extension,

et qu'il doit se répandre au loin, cette masse s'agite par suite des secousses intérieures qu'elle éprouve pendant la formation de ces brèches, desquelles s'échappent, comme d'un incendie, des rayons lumineux diversement colorés.

Quand cette espèce d'incendie est éteint, et que la matière de l'aurore s'est étendue, il se forme alors une couronne au zénith, où concourent les rayons lumineux. Dans ce moment le phénomène diminue d'intensité; on observe cependant encore, de temps à autre, des jets de lumière, une couronne et des couleurs plus ou moins vives, tantôt d'un côté du ciel, tantôt de l'autre. Enfin, le mouvement cesse, la lumière se rapproche de plus en plus de l'horizon; la nue quitte les diverses parties du ciel et s'arrête vers le nord. Le segment obscur en se dissipant devient lumineux; sa clarté est d'abord assez prononcée près de l'horizon, plus faible au-dessus, et finit par se perdre dans le ciel.

Outre les effets que je viens de décrire, d'après Mairan, l'aurore est quelquefois composée de deux segments lumineux concentriques, ayant leurs extrémités à l'horizon, séparés entre eux par un segment obscur, et de la terre par un autre segment obscur.

Il assure aussi, quoique très-rarement, qu'il n'y a qu'un seul segment obscur (fig. 22), percé symétriquement, autour de son bord, de créneaux, à travers lesquels on croit apercevoir un incendie. Ce singulier météore a été observé par Mairan lui-même, à Breuille-Pont, le 19 octobre 1726.

Le même physicien admet que l'aurore est un phénomène qui se passe en dehors de notre atmosphère, autant qu'on en peut juger par les observations de parallaxe faites en différents lieux éloignés les uns des autres. On trouve, en effet, dans son ouvrage, page 55, les faits suivants :

L'aurore du 12 septembre 1621, observée par Gassendi, à Peyniers, en Provence, entre Aix et Saint-Maximin, fut aperçue en même temps dans tout le Dauphiné, à Bordeaux, à Dijon, à Paris, à Rouen, dans

toute l'Europe, jusqu'à Alep, en Syrie, c'est-à-dire, à près de 700 lieues vers l'orient de la France.

L'aurore boréale du 17 mars 1716 fut observée dans la plupart des parties septentrionales de l'Europe, et par des Anglais, dont le vaisseau se trouvait alors proche des côtes d'Espagne, à 46° 36′ de latitude.

L'aurore boréale du 19 octobre 1726 fut visible en même temps à Varsovie, à Moscou, à Saint-Pétersbourg, à Rome, à Naples, à Lisbonne, et même, selon quelques relations, à Cadix. En admettant que le phénomène, vu en même temps dans ces deux dernières villes, se fût présenté le plus près possible de l'horizon, ce qui est le cas le plus défavorable pour avoir une mesure approchée de la région où il existait, on obtient une valeur de 58 lieues pour la hauteur perpendiculaire du point où se coupent les deux tangentes que forment les rayons visuels des observateurs.

Comme les assertions sur lesquelles s'appuie Mairan, pour montrer que l'on a trouvé des hauteurs plus considérables pour les aurores, ne sont pas appuyées de preuves suffisantes, je me dispense d'en faire mention ici; si les faits précédents sont bien constatés, on doit en conclure que les aurores se montrent quelquefois bien au delà des limites que l'on assigne à notre atmosphère. Mais M. Biot ne partage pas cette opinion, comme on va le voir.

Dans le voyage qu'il a fait, en 1817, aux îles Shetland, il a eu occasion de voir souvent et d'étudier les aurores boréales. Voici la description que ce célèbre physicien a donnée de celle qu'il a observée le 27 août 1817 (1): « On vit d'abord dans le nord-est quelques jets « déliés de lumière qui s'élevaient sur l'horizon, à une « petite hauteur : ayant brillé pendant quelque temps, « ils s'éteignirent; mais une heure et demie après, ils re- « parurent dans la même partie du ciel, et cette fois ils

(1) Journal des Savants, 1820.

« étaient beaucoup plus forts, plus brillants, plus éten-
« dus. Bientôt ils commencèrent à former, au-dessus de
« l'horizon, un arc régulier comme un arc-en-ciel; le
« contour n'en était pas complet d'abord; mais peu à
« peu son amplitude s'accrut, et après quelques instants
« je vis venir à l'ouest l'autre moitié qui se forma, s'é-
« leva en un moment, accompagnée d'une multitude de
« jets de lumière qui accouraient de tous les points de
« l'horizon du nord; alors le sommet de la courbure
« s'éleva presque jusqu'au zénith. Cet arc fut d'abord
« flottant et indécis, comme si la matière qui le compo-
« sait n'avait pas encore pris un arrangement stable;
« mais bientôt toute son agitation se calma, et dès lors il
« se maintint dans toute sa beauté pendant plus d'une
« heure, ayant seulement un mouvement de progression
« presque sensible vers le sud-est, où il semblait que le
« portât le léger souffle du vent nord-est qu'on sentait
« alors. J'eus ainsi tout le temps de contempler et d'ob-
« server sa situation, avec le cercle qui servait à mes
« observations astronomiques. Je trouvai qu'il embras-
« sait sur l'horizon une étendue de 128° 42', et que son
« centre était placé exactement sur la direction de l'ai-
« guille aimantée. Toute l'étendue du ciel, que ce grand
« arc limitait du côté du nord-ouest, était incessamment
« traversée, dans toutes les directions, par des jets lumi-
« neux, dont les formes, les mouvements, les couleurs et
« les durées diverses n'occupaient pas moins mon esprit
« que mes regards. Le plus souvent chacun de ces jets,
« lorsqu'il commençait à paraître, n'était qu'un sim-
« ple trait de lumière blanchâtre; sa grandeur, son éclat,
« s'accroissait avec rapidité, en offrant quelquefois des
« variations singulières de direction et de courbure. Quand
« il avait atteint son entier développement, il se rétré-
« cissait en un filet mince et rectiligne, dont la lumière,
« en général, extrêmement vive et brillante, offrait une
« teinte rouge bien marquée. Après ce terme, il s'affai-
« blissait peu à peu, et finissait par s'éteindre, souvent
« à la même place précise où il avait commencé son ap-

« parition. Cette permanence d'un grand nombre de jets, « chacun dans un même lieu apparent, tandis que leur « éclat éprouve une infinité de nuances, semble prouver « que la lumière dont il brille n'est pas réfléchie, mais « directe, et qu'elle se développe au lieu même où on la « voit : aussi n'ai-je pas pu y découvrir la moindre trace « de polarisation. Tous ces feux, et l'arc même qui les « embrassait dans son contour, occupaient une région « plus élevée que les nuages; car ceux-ci les cachaient par « intervalle; et soit que ce fût une illusion, soit que la « chose fût réelle, les contours de ces nuages en parais- « saient illuminés. »

Voyons encore le récit d'une aurore boréale observée dans une région plus septentrionale que les îles Shetland, à Bossekop (West-Finmark).

M. le lieutenant de vaisseau Lottin, un des membres de la commission scientifique envoyée dernièrement dans le Nord, a fait une étude approfondie des aurores dans cette localité, pendant l'hiver de 1838 à 1839; voici le résultat de ses observations, qu'il a eu l'obligeance de me communiquer :

Bossekop est un comptoir norwégien dans la baie d'Alten, sur la côte de West-Finmark, par 70 degrés de latitude septentrionale.

Le golfe ou *Fiord* d'Alten s'étend dans la direction du nord comme un large fleuve dont les sinuosités vont se perdre derrière plusieurs promontoires, de sorte que Bossekop semble être sur les bords d'un lac entouré de forêts de sapins et de montagnes neigeuses, dont les crêtes dentèlent l'horizon à la hauteur de 5 à 7 degrés.

De septembre 1838 à avril 1839, dans l'intervalle de 206 jours, on a compté 143 aurores boréales; elles ont été surtout très-fréquentes du 17 novembre au 25 janvier, pendant l'absence du soleil; cette nuit de 70 fois 24 heures a offert 64 aurores, sans compter celles dérobées à la vue par un ciel entièrement couvert, et dont néanmoins la présence était accusée par les perturbations des aiguilles magnétiques.

Sans entrer dans de plus longs détails, l'on se contente ici de décrire d'une manière succincte l'aspect sous lequel les aurores se sont présentées le plus fréquemment, et leur marche accoutumée; enfin, ce que l'on pourrait, pour ainsi dire, considérer comme une aurore normale, quoique toutes n'offrent pas la réunion parfaite des mêmes phénomènes.

Le soir, entre 4 et 8 heures, la brume légère qui règne presque habituellement au nord, dans la direction du Fiord, à la hauteur de 4 à 6 degrés, se colore à sa partie supérieure, ou plutôt se frange des lueurs de l'aurore qui existe derrière. Cette bordure devient plus régulière et forme un arc vague, d'une couleur jaune pâle, dont les bords sont diffus et dont les extrémités s'appuient sur les terres.

Cet arc monte plus ou moins lentement, son sommet restant dans le méridien magnétique, ou à très-peu près; ce qui n'est pas facile de déterminer avec exactitude, à cause de son mouvement ascensionnel et de sa forme déprimée.

Bientôt des stries noirâtres séparent régulièrement la matière lumineuse de l'arc : les rayons sont formés. Ils s'allongent, se raccourcissent lentement, ou instantanément; *ils dardent*, augmentant et diminuant subitement d'éclat. La partie inférieure, *les pieds* des rayons, offrent toujours la lumière la plus vive, et forment un arc plus ou moins régulier; la longueur de ces rayons est souvent très-variée, mais tous convergent vers un même point du ciel, indiqué par la direction de la pointe sud de l'aiguille d'inclinaison (fig. 23). Parfois ils se prolongent jusqu'à leur point de réunion, formant ainsi le fragment d'une immense coupole lumineuse (fig. 24).

L'arc continue de monter vers le zénith; il éprouve un mouvement ondulatoire dans sa lueur, c'est-à-dire, que d'un pied à l'autre l'éclat de chaque rayon augmente successivement d'intensité; cette espèce de courant lumineux se montre plusieurs fois de suite, et bien plus fréquemment de l'ouest à l'est que dans le sens opposé.

Quelquefois, mais rarement, un mouvement rétrograde a lieu immédiatement après le premier, et aussitôt que cette lueur a parcouru successivement tous les rayons de l'ouest à l'est, elle se dirige dans le sens inverse, revenant ainsi à son point de départ, sans que l'on puisse dire si ce sont les rayons qui éprouvent alors un mouvement de translation à peu près horizontal, ou si cette lueur plus vive se transporte d'un rayon à l'autre de proche en proche, sans que ceux-ci éprouvent de déplacement.

L'arc offre aussi un mouvement alternatif dans le sens horizontal, figurant les ondulations ou les plis d'un ruban ou d'un drapeau agité par le vent, comme on le voit dans la fig. 25. Parfois un de ses pieds, et même tous les deux, abandonnent l'horizon; alors les plis deviennent plus nombreux, mieux prononcés, l'arc n'est plus qu'une longue bande de rayons qui se contourne, se sépare en plusieurs parties, formant des courbes gracieuses (fig. 26), qui se referment presque sur elles-mêmes, et offrent, *n'importe dans quelle partie de la voûte céleste*, ce que l'on a probablement nommé jusqu'ici des couronnes boréales. Alors l'éclat des rayons varie subitement d'intensité, dépasse celui des étoiles de première grandeur; ces rayons dardent avec rapidité, les courbes se forment et se déroulent comme les plis et replis d'un serpent (fig. 27). Puis les rayons se colorent : la base est rouge, le milieu vert; le reste conserve sa teinte lumineuse jaune clair. Ces couleurs ont toujours, sans exception, conservé ces positions respectives; elles sont d'une admirable transparence; le rouge approche de la teinte sang-clair, le vert de celle d'une émeraude pâle. L'éclat diminue, les couleurs disparaissent, tout s'éteint subitement ou s'affaiblit peu à peu. Des fragments d'arc reparaissent; l'arc se reforme lui-même, continue son mouvement ascensionnel et approche du zénith; les rayons, par l'effet de la perspective, deviennent de plus en plus courts; on peut juger de l'épaisseur de l'arc, qui offre, parfois alors, une large zone de rayons parallèles; puis le

sommet de l'arc atteint le zénith magnétique, point désigné par la pointe sud de l'aiguille d'inclinaison : alors les rayons sont vus par leurs pieds ; s'ils se colorent en ce moment, ils montrent une large bande rouge à travers laquelle on distingue les nuances vertes qui leur sont supérieures, et s'ils subissent ce mouvement de translation horizontale dont nous avons parlé plus haut, les pieds forment une longue zone sinueuse et ondulante, tandis que dans tous ces changements continuels, les rayons n'éprouvent jamais d'oscillation dans le sens de leur axe, et conservent toujours leur parallélisme.

Pendant l'intervalle de temps qui vient d'être décrit, de nouveaux arcs se sont présentés à l'horizon, commençant d'une manière diffuse, ou avec les rayons tout formés et très-vifs. Ils se succèdent en passant à peu près par les mêmes phases, et se maintiennent à distance les uns des autres ; on en a compté ainsi jusqu'à neuf, appuyés sur les terres, et rappelant, par leur disposition, ces toiles cintrées qui vont d'une coulisse à l'autre et figurent le ciel de nos scènes théâtrales. Parfois les intervalles diminuent, plusieurs de ces arcs se serrent l'un contre l'autre ; c'est une large zone de rayons parallèles qui traversent le ciel et vont disparaître vers le sud, s'affaiblissant rapidement après leur passage au zénith. Mais parfois aussi, lorsque cette zone occupe le haut du ciel, s'étendant de l'est à l'ouest, la masse de rayons qui ont déjà dépassé le zénith magnétique paraît tout à coup venir du sud, et forme avec ceux du nord la véritable couronne boréale, dont tous les rayons convergent vers le zénith. Ainsi cette apparence de couronne ne vient, sans doute, que d'un simple effet de perspective, et l'observateur placé dans cet instant à une certaine distance, au nord ou au sud, n'apercevrait qu'un arc.

La zone totale du rayon étant moins épaisse dans le sens nord et sud que longue dans le sens est et ouest, puisqu'elle s'appuie souvent sur les terres, la couronne a une forme elliptique. Mais cela n'a pas toujours lieu : on

l'a vue circulaire, les rayons inégaux ne s'étendant pas à plus de 8° à 12° degrés du zénith, tandis que d'autres fois ils vont jusqu'à l'horizon.

Si l'on pense qu'alors tous ces rayons dardent avec vivacité, variant continuellement et subitement dans leur longueur et leur éclat; que des belles teintes rouges et vertes les colorent par intervalles; que les mouvements ondulatoires ont lieu, que les courants lumineux se succèdent, et enfin que la voûte céleste tout entière offre une immense et magnifique coupole étincelante, dominant un sol couvert de neige qui, lui-même, sert de cadre éblouissant à une mer calme et noire comme un lac d'asphalte, on n'aura encore qu'une idée très-imparfaite de l'admirable spectacle qui s'offre à l'observateur et qu'il faut renoncer à décrire.

La couronne ne dure que quelques minutes; elle se forme quelquefois instantanément, sans aucun arc préalable. Il y en a rarement plus de deux dans la même nuit, et bien des aurores n'en ont montré aucune trace.

La couronne s'affaiblit, tout le phénomène est au sud du zénith, formant des arcs plus pâles et qui disparaissent généralement avant d'avoir atteint l'horizon sud. Le plus ordinairement tout ceci a lieu dans la première moitié de la nuit, après quoi l'aurore paraît avoir perdu de son intensité; des faisceaux de rayons, des bandes, des fragments d'arcs paraissent et disparaissent par intervalles; puis les rayons deviennent de plus en plus diffus: ce sont des lueurs vagues et faibles qui finissent par occuper tout le ciel, groupées comme de petits cumulus, et désignées sous le nom de *plaques aurorales*. Leur lumière lactée éprouve souvent des changements très-vifs dans son intensité, semblables à des mouvements de dilatation et de contraction qui se propagent du centre à la circonférence, et réciproquement, rappelant ceux de ces animaux marins nommés *méduses*. La lueur crépusculaire arrive peu à peu, et le phénomène, faiblissant graduellement, cesse d'être visible.

D'autres fois les rayons paraissent encore avec le com-

mencement du jour, même lorsqu'on peut lire sans difficulté le texte d'un imprimé; puis ils disparaissent tout à coup; ou bien, à mesure que le crépuscule augmente, ils deviennent vagues, prennent une couleur blanchâtre, et finissent par se confondre avec les cirrho-stratus, de telle sorte qu'il devient impossible de les distinguer de cette espèce de nuages.

En résumé, nous voyons d'abord que les aurores boréales, lors de leur apparition, dérangent ordinairement la marche régulière de l'aiguille aimantée. J'indiquerai, en traitant des variations diurnes, en quoi consiste l'influence qu'exercent sur elle ces météores.

Nous voyons ensuite que pendant leur apparition on aperçoit souvent vers le nord et quelquefois même vers le couchant des rayons, diversement colorés, qui jaillissent de tous les points de l'espace, et se dirigent ordinairement vers le méridien magnétique.

Avant que ces rayons se montrent, on aperçoit des cercles concentriques, coupés en deux parties égales par le méridien magnétique. Nous pouvons inférer de là qu'il existe une liaison intime entre les causes de l'aurore boréale et celles du magnétisme terrestre.

§ II. *Des diverses théories imaginées pour expliquer les aurores boréales.*

1632. Avant de faire connaître, avec des développements suffisants, le mode d'action exercé par les aurores sur l'aiguille aimantée, je vais reprendre les diverses théories, dont j'ai parlé précédemment, qui ont été imaginées pour expliquer ce singulier phénomène; en montrant en même temps leur insuffisance pour rendre compte des effets observés, je passe sous silence toutes les idées erronées et superstitieuses mises jadis en avant pour les interpréter.

Je commencerai par Halley qui supposa que l'aurore était due à des tourbillons magnétiques, traversant la terre avec une excessive vitesse du sud au nord, et

pouvant devenir lumineux par eux-mêmes ou par leur contact avec les substances terrestres qu'ils rencontraient. Les tourbillons ayant été abandonnés, on mit en avant plusieurs causes qui fixèrent peu l'attention publique. Mairan vint à son tour, comme je l'ai déjà dit, et partant du fait qu'il existe autour du soleil une espèce de vapeur lumineuse, d'une ténuité extrême, admit sur-le-champ que l'aurore boréale n'était qu'une portion de cette vapeur, ou plutôt une portion de l'atmosphère solaire que la terre rencontrait sur sa route et emportait avec elle dans l'espace.

Quoique cette théorie présentât de grandes difficultés pour faire ainsi voyager l'atmosphère solaire, néanmoins Mairan la défendit avec talent, et parvint même à la faire adopter par les hommes les plus distingués de son époque. Cette théorie fut donc admise par les savants jusqu'en 1740, époque où Celsius et Niorter découvrirent que les aiguilles aimantées éprouvaient une agitation extraordinaire lors de l'apparition des aurores. On observa successivement plusieurs des effets dont il a été question précédemment, et qui firent supposer que l'électricité devait jouer un rôle, et même un rôle important, dans la production du phénomène. Mais il ne suffisait pas de trouver une identité entre la lumière électrique et celle des aurores; il fallait encore démontrer l'existence d'une quantité suffisante d'électricité dans l'atmosphère.

Franklin, et quelques physiciens qui vinrent ensuite, démontrèrent bien qu'il existe en tout temps, pendant le jour et pendant la nuit, une certaine quantité d'électricité libre dans l'air; mais cette quantité n'était pas suffisante pour expliquer tous les effets observés dans les aurores.

Dalton, dans un ouvrage ayant pour titre : *Meteorological Observations and Essays*, publié en 1793, exposa aussi ses idées sur l'aurore boréale; je vais en donner ici un aperçu :

Le phénomène de l'aurore se passe à 150 milles d'élévation de la surface de la terre. En s'élevant au-dessus

de celle-ci, on trouve d'abord la région des nuages, puis celle des météores, tels que les étoiles filantes, les globes de feu, etc.; au delà est la région de l'aurore. La grande élévation de l'aurore, sa lumière extrêmement affaiblie, qui peut s'étendre sur une moitié de l'hémisphère, sont autant de preuves de la grande élévation de l'aurore. Dalton appelle encore à son aide les effets électriques lumineux produits dans l'air plus ou moins raréfié. Il attribue, en outre, une origine ferrugineuse aux rayons de l'aurore boréale, en raison des propriétés magnétiques du fer. Je passe sous silence d'autres assertions plus extraordinaires encore, qui ne peuvent supporter le plus léger examen, dans l'état actuel de la science, pour en venir à l'explication rationnelle de quelques-uns des effets principaux que l'on observe pendant la durée du phénomène.

Si les jets de lumière semblent converger vers le méridien magnétique, ce n'est là qu'une illusion d'optique, attendu que ces rayons, étant parallèles à l'aiguille d'inclinaison, doivent tendre vers un point situé dans le plan du méridien magnétique qui passe par l'œil. Lorsqu'un certain nombre de ces rayons sont amenés au-dessus de la tête de l'observateur, de manière à dépasser les points du ciel qui correspondent au méridien magnétique, la projection de tous ces rayons doit former sur la voûte céleste, autour de ce point, une couronne lumineuse dont les traits divergents paraîtront descendre de toutes parts vers l'horizon, jusqu'à la hauteur apparente à laquelle les rayons météoriques seront descendus eux-mêmes par l'effet de leur mouvement progressif. Cette démonstration fut adoptée par Cavendish, dont l'opinion est ici d'un grand poids en raison de la sévérité qu'il apportait dans tous ses jugements.

Suivant Dalton, l'action exercée par l'aurore est dépendante de sa hauteur au-dessus de l'horizon; quand cette hauteur est très-grande, l'aiguille aimantée n'éprouve aucune espèce de perturbation. Quand l'aurore s'élève au-dessus du zénith, et même le dépasse, cette perturbation consiste en une oscillation irrégulière, tan-

tôt à l'est, tantôt à l'ouest de la position diurne moyenne de l'aiguille. J'ignore de quelle manière M. Dalton a pu vérifier toutes ces assertions.

1633. J'arrive maintenant à la théorie de M. Biot.

Pour s'assurer, dit M. Biot, si le phénomène des aurores existe dans notre atmosphère ou au dehors, il suffit de voir s'il a des relations quelconques avec le mouvement diurne de la terre; or, toutes les observations faites jusqu'ici, et qui ont été constatées aux îles Shetland, prouvent que les arcs et les couronnes ne participent en rien avec le mouvement apparent des astres d'orient en occident; dès lors le phénomène est purement atmosphérique.

M. Biot, comme Cottes et Dalton, pense que les rayons lumineux, que ces colonnes plus ou moins brillantes, ne sont point vus dans leur position réelle; il conclut des effets qu'il a observés que tout le phénomène consiste en une infinité de colonnes lumineuses suspendues dans l'air, à une élévation à peu près égale des divers côtés de l'horizon, et parallèle à la direction des forces magnétiques du globe. Ces colonnes étant placées à des distances inégales, doivent se recouvrir les unes les autres par un effet de perspective.

Voyons comment il envisage la hauteur à laquelle ce phénomène est produit au-dessus de la surface de la terre. Pour déterminer cette hauteur, on a d'abord employé la méthode des parallaxes, qui consistent, comme on sait, à observer le même objet, au même instant, de différents lieux communs, afin d'en déduire la position réelle. Mais la difficulté d'obtenir une identité parfaite de temps et d'observer les mêmes parties de l'aurore, a dû produire de grandes différences dans les résultats obtenus par divers observateurs; aussi ont-ils placé le météore à 20, à 30, à 50, à 100 lieues et même plus, au-dessus de la surface de la terre.

Quelle que soit la hauteur à laquelle se passe le phénomène, il est certain que cette hauteur doit varier continuellement, comme semble l'indiquer l'agitation vive

et continuelle des jets de lumière, le mouvement simultané progressif des arcs, enfin, le transport lent et régulier de flocons de matière phosphorique qui se détachent çà et là de la matière lumineuse, comme M. Biot l'a lui-même observé aux îles Shetland, le 6 septembre 1817.

Cette agitation des jets de lumière, ce mouvement des arcs, cette fluctuation continuelle de la matière des aurores, qui se replie sur elle-même, se déplie comme une matière floconneuse agitée par un vent léger, tous ces effets semblent donner de la vraisemblance à l'opinion généralement accréditée dans les régions septentrionales, que les aurores boréales font quelquefois entendre un bruissement plus ou moins fort.

Muschenbroeck rapporte lui-même que le fait a été observé par des matelots employés à la pêche de la baleine, sur les côtes du Groënland.

Gmelin, dans son *Voyage en Russie*, dit que beaucoup de personnes lui ont assuré que l'aurore boréale est accompagnée de bruits, de sifflements et de pétillements pareils à ceux que produiraient les plus grands feux d'artifice.

M. Biot a recueilli également, de la part des habitants des îles Shetland, des témoignages unanimes du fait dont il est ici question. Il faut ajouter cependant que lui-même n'en a pas été témoin.

M. Lottin et les membres de la commission scientifique envoyée dans le Nord ont observé cent quarante-trois aurores boréales, sans qu'aucune fût accompagnée de bruissement, et cependant tous les habitants ont déclaré, comme ceux des îles Shetland et de Sibérie, que souvent ils l'ont entendu distinctement. Ne pourrait-on pas inférer de tous ces témoignages, pris dans des régions très-éloignées, que le météore descende quelquefois assez bas pour que le bruit qui l'accompagne soit entendu des observateurs, et même pour répandre une forte odeur de soufre autour d'eux, comme des voyageurs l'ont éprouvé en traversant les montagnes de Norwége, où ils ont été

enveloppés par l'aurore boréale, au rapport de Bergmann (1)?

En résumé, nous voyons que l'aurore boréale est composée de véritables nuées venant ordinairement du nord, et formées d'éléments extrêmement ténus et lumineux flottant dans les airs; que ces nuées forment souvent des colonnes qui prennent la direction de l'aiguille aimantée. Quelle est la nature de ces éléments? voilà les données de la question; voyons comment M. Biot l'a résolue:

« Parmi les substances terreuses, nous ne connaissons « jusqu'à présent que les métaux dont les particules « soient susceptibles de magnétisme; encore cette pro- « priété est-elle particulière à quelques-uns d'entre eux. « Il est donc vraisemblable qu'ils sont, au moins en grande « partie, composés de particules métalliques réduites à « une ténuité extrême. Mais de là résulte aussitôt une « autre conséquence : on sait que tous les métaux con- « nus sont d'excellents conducteurs de l'électricité; or, « les diverses couches qui composent l'atmosphère sont « habituellement chargées de quantités très-inégales d'é- « lectricité..... D'après cela, si des colonnes composées « en partie d'éléments métalliques se trouvent suspen- « dues verticalement dans l'atmosphère, comme le sont « les colonnes de l'aurore boréale, lorsqu'elles flottent « au-dessus des régions les plus voisines du pôle, l'élec- « tricité des couches d'air situées au sommet et au bas « de ces colonnes trouvera en elles autant de conducteurs « plus ou moins parfaits; et si la tendance de cette élec- « tricité, pour se répandre uniformément, surpasse la « résistance que l'imperfection des colonnes conductrices « lui oppose, elle s'écoulera le long de ces colonnes en « illuminant sa route, comme nous voyons que cela ar- « rive, en général, avec des conducteurs discontinus.

(1) Toberius Bergmann, Opuscula physica et chimica, tom. v, page 297.

« Quand cet écoulement s'opérera dans les parties très-
« élevées de l'atmosphère, où l'air, par sa rareté, offre peu
« de résistance au mouvement de l'électricité, il se fera
« silencieusement avec tous les accidents de lumière que
« nous observons dans les tubes vides d'air; mais s'il vient
« à se propager jusqu'aux couches d'air inférieures, il
« faudra nécessairement qu'il y occasionne ce souffle et
« ces pétillements qui paraissent en effet accompagner
« l'aurore boréale lorsqu'elle descend jusqu'à la surface
« de la terre. Enfin, le météore ne devenant visible que
« par cette cause accidentelle, il pourra exister dans l'air
« et agir sur l'aiguille aimantée sans être aperçu : il se
« pourra encore qu'il ne brille qu'en certaines parties et
« qu'il reste obscur dans tout le reste; tandis que dans
« d'autres cas, la rupture de l'équilibre électrique étant
« subite et générale, toute la colonnade météorique s'il-
« lumine en un moment. Ces phénomènes devront s'affai-
« blir à mesure que les nuages météoriques s'avanceront
« au-dessus des contrées plus méridionales, non-seule-
« ment à cause de l'extension qu'ils pourront y prendre,
« mais surtout parce que les colonnes conductrices de-
« vant se conformer toujours à la direction de l'aiguille
« aimantée, deviendront de plus en plus horizontales,
« auront aussi leurs deux extrémités placées dans des
« couches d'air moins distantes, par conséquent chargées
« de quantités d'électricité moins inégales, et auxquelles,
« en outre, une humidité habituellement plus grande
« donnera plus d'occasion de se décharger. »

Cette explication est certainement très-ingénieuse; mais il reste à démontrer comment il se fait que des nuages composés de parties métalliques se forment plutôt dans le voisinage des pôles que partout ailleurs, pour se rendre de là dans le reste de l'atmosphère.

Il faut aussi rendre compte de ces effets, véritables phénomènes d'inflammation, dans ces nuages phosphoriques qui se détachent du nuage lumineux principal, et lancent par intervalle des jets de lumière.

Voici comment M. Biot aborde ces deux questions :

Le pôle magnétique est évidemment le point de départ des colonnes lumineuses; dès lors, les parties extrêmement déliées qui composent ces colonnes, et la nue lumineuse qui leur donne naissance, doivent sortir de la terre en ce point ou en quelques autres peu éloignés. Or, les contrées septentrionales ont été, dans tous les temps, comme elles le sont aujourd'hui, exposées à de violentes éruptions volcaniques. Plusieurs des volcans voisins du pôle sont en activité autour de la zone où se trouve le pôle magnétique. Je citerai particulièrement les volcans des îles Aleutiennes, d'Islande et du Kamschatka. Ces éruptions sont toujours accompagnées de phénomènes électriques; la foudre sillonne sans cesse les tourbillons de vapeur et les déjections pulvérulentes qui sortent des cratères. Ces colonnes, ces tourbillons de poussière volcanique, chargés d'électricité, sont transportés, comme on sait, à des distances considérables, et abandonnent à l'air, dans leur trajet, toute l'électricité dont ils étaient imprégnés en sortant du cratère.

« Ces éruptions si vastes, dit M. Biot, partant d'a-
« bîmes si profonds qu'ils semblent communiquer entre
« eux par-dessous la croûte solide du globe, d'un bout
« à l'autre de la terre, ne doivent-elles pas, lorsqu'elles
« durent quelque temps, exciter, au-dessus du gouffre
« dont elles sortent, de violents courants d'air et de vé-
« ritables vents ascendants qui emportent les poussières
« volcaniques jusqu'à des élévations bien supérieures aux
« nuages ordinaires? D'un autre côté, on sait, au rap-
« port des voyageurs qui ont visité l'Islande, qu'on voit
« quelquefois au-dessus de l'île, pendant les éruptions
« volcaniques, une espèce de brouillard volcanique; ces
« nuages ont une nature sulfureuse et métallique; ils
« irritent douloureusement les yeux, la bouche et les
« narines. Au surplus, l'existence de ces brouillards,
« composés de matières sèches, et répandant une odeur
« fétide et sulfureuse, a été constatée en 1783, époque
« où toute l'Europe fut couverte d'un semblable brouil-
« lard, qui ne participait pas au mouvement de rotation

« de la terre, puisque des voyageurs l'ont rencontré « dans la Méditerranée, sur le sommet des Alpes et dans « l'océan Atlantique, jusqu'à cent lieues de distance des « côtes. »

D'un autre côté, on a un exemple d'un brouillard sec possédant la propriété lumineuse dont sont douées les nues qui constituent l'aurore boréale, comme on peut le voir dans le *Journal de physique*, 1784, page 399.

Quant à ces phénomènes de combustion, M. Biot pense que des décharges électriques répétées peuvent enflammer des matières combustibles répandues dans la nue fondamentale.

Voyons jusqu'à quel point les bases posées par M. Biot peuvent être admises dans l'état actuel de nos connaissances en géologie.

Suivant lui, l'amas de vapeurs qui constitue la nue de l'aurore est en grande partie composé de particules métalliques réduites à une ténuité extrême; cette nue provient des déjections pulvérulentes lancées, à des hauteurs considérables, par les volcans qui entourent le pôle magnétique. Or, en général, parmi les matières lancées par les volcans, on distingue les rapilli ou débris de lave fondue, qui sont presque toujours des silicates; on y trouve encore des aluminates analogues à la pouzzolane; ces matières ne sortent pas toujours sèches du cratère; elles sont fréquemment pénétrées de vapeurs aqueuses et entremêlées de scories excessivement fines. Ces mêmes matières sont souvent mêlées de gaz hydrogène sulfuré, d'acide sulfureux, de vapeur sulfureuse, d'acide hydrochlorique, de gaz acide carbonique, d'acide borique, de sel marin, de sel ammoniac, de chlorure de cuivre, de réalgar ou sulfure rouge d'arsenic : on n'y trouve, enfin, aucune parcelle à l'état métallique. Or, toutes ces substances, à l'exception des liquides, sont privées sensiblement de la propriété conductrice; quant aux parties liquides qui la possèdent, il est probable qu'elles se dissipent dans les régions supérieures de l'atmosphère. On n'a donc plus à considérer comme parties constituantes des nuages vol-

caniques que des matières vitreuses, des silicates, et autres dépourvues de conductibilité. Dès lors, nous ne retrouvons plus, dans les particules de la matière des aurores, la conductibilité électrique nécessaire pour que les colonnes, lorsqu'elles flottent au-dessus des régions septentrionales, puissent servir à opérer la décharge entre les diverses parties de l'atmosphère électrisée à des degrés très-différents, d'où résulte une illumination qui se répand au loin.

Tous les faits observés jusqu'ici montrent bien que les rayons ou colonnes de l'aurore boréale obéissent à l'action du magnétisme terrestre, et doivent être, par conséquent, considérés comme ces jets lumineux produits dans l'expérience de Davy, lorsque l'on fait passer dans le vide, entre deux pointes de charbon, la décharge d'une forte batterie voltaïque ; ce jet lumineux se comporte, en présence d'un barreau aimanté, comme pourrait le faire une portion de circuit mobile parcourue par un courant électrique. Ce jet, suivant que l'on présente un barreau aimanté au-dessus, au-dessous ou de côté, se déforme, s'éloigne ou se rapproche du barreau. Sous ce rapport, il a donc la plus grande ressemblance avec les colonnes lumineuses que nous montrent les aurores boréales.

Au surplus, tout nous prouve que les rayons lumineux de l'aurore sont des traînées de matières gazeuses, parcourues par des courants électriques, et susceptibles de prendre toutes les formes. Quelle est la nature de cette matière gazeuse ? Comment sont produits ces courants ? Ce sont des questions auxquelles il est impossible de répondre, si l'on ne veut pas se jeter dans les hypothèses.

Il y a tant de moyens de mettre en mouvement l'électricité dans les corps conducteurs, de manière à produire des courants, qu'on ne peut connaître, *à priori*, celui que la nature emploie. A l'époque où parut la théorie de M. Biot, il était nécessaire d'avoir de l'électricité pour obtenir un courant ; il est donc tout naturel qu'il ait appelé à son aide des décharges électriques pour rendre magnétiques les colonnes lumineuses de l'aurore. Mais

aujourd'hui, que nous savons que l'on peut faire naître des courants électriques dans les corps, en troublant l'équilibre de leurs particules, en les changeant de place, en un mot, en leur faisant perdre leur *statu quo*, il peut très-bien se faire qu'il existe dans l'atmosphère des causes quelconques qui mettent en mouvement la matière des aurores dont nous ignorons la nature et l'origine, et d'où résultent des courants électriques. Je n'ai nullement l'intention d'expliquer ici le phénomène, mais bien de présenter au lecteur quelques-unes des causes qui concourent à sa production.

J'ajouterai encore que ces courants, en circulant dans la matière gazeuse, à laquelle il faut accorder des qualités conductrices suffisantes, peuvent bien enflammer les matières combustibles qui s'y trouvent répandues, et que de là résultent ces effets d'incendie que l'on observe dans toutes les grandes aurores boréales.

Relativement au rôle que peut jouer l'électricité atmosphérique dans la production du phénomène, je me bornerai à dire que lorsque l'air est calme et serein, il possède un excès d'électricité positive, et la terre un excès d'électricité contraire; il y a ensuite une recomposition continuelle des deux électricités par l'intermédiaire des couches d'air qui avoisinent la terre jusqu'à la hauteur de 1 mètre ou 2. Il doit donc s'opérer des décharges successives entre l'atmosphère et la terre, décharges d'autant plus rapides qu'il y a plus de vapeur humide dans l'air. C'est en raison de cette recomposition que l'expérience montre que l'électricité atmosphérique augmente en tension depuis sa surface jusqu'à la hauteur de quelques centaines de mètres; mais il n'est guère probable que l'on trouve des traces d'électricité terrestre à des hauteurs où l'air est extrêmement raréfié, attendu que la terre doit exercer sans cesse une action par influence sur l'électricité qui s'y trouve à l'état libre. Ainsi, je ne pense pas que l'électricité qui peut se trouver dans les aurores ait une cause terrestre; toutefois je n'émets là qu'une opinion qui peut être controversée.

En outre, les expériences de divers physiciens, et, entre autres, celles de M. Harris et les miennes, tendent à prouver qu'un corps électrisé placé dans le vide, loin de tout corps capable d'exercer sur lui une action par influence, conserverait indéfiniment sur sa surface son électricité; mais que, si les corps sont placés à une distance telle que l'action par influence puisse avoir lieu, l'électricité franchit l'espace vide : si donc l'électricité atmosphérique intervient dans le phénomène des aurores boréales, il faut que ces dernières existent dans des parties de l'atmosphère où l'air n'est pas dans un grand état de raréfaction. Mais alors comment expliquer ces couleurs si variées des rayons lumineux, qui ont tant de ressemblance avec celles des décharges de l'électricité dans de l'air plus ou moins raréfié? Je m'arrête, dans la crainte d'avancer des conjectures qui ne seraient pas appuyées sur des données suffisantes pour leur donner un caractère de vérité.

En terminant, j'indique ci-après quelques-uns des principaux ouvrages auxquels le lecteur pourra recourir, s'il veut approfondir tout ce qui concerne les aurores boréales.

Mémoires à consulter sur les phènomènes de l'aurore boréale.

Cotes, n° 365 des Transactions philosophiques.
Halley, « 347 *id.* *id.*
Roemer, Mélanges de Berlin, tom. 1er.
D. Cassini, Journal des Savants, 1683.
Euler, Mémoires de Berlin, 1746.
Mairan, Traité de l'aurore boréale.
Van Swenden, Mémoires de l'Acad. des Scienc. (Sav. étrang. t. 8).
Gassendi, tome 2 de ses œuvres, pag. 107.
P.-C. Mayer, Mémoires de l'Académie de St-Pétersbourg, t. 4.
Cavendish, Transactions philosoph., 90.
Dalton, Meteorological Observations and Essays.
Mayer, Mémoires de St-Pétersbourg, 1726.
Bergmann, Opuscula chimica et physica, tom. 4.

Blagden, Transactions philosoph., 1784.
Messier, Savants étrangers, tom. 6.
Gauthier de la Peyronie, Voyage en Islande, tom. 4.
Toaldo, Journal de physique, 1784.
Gioeni, Transactions philosoph., 1782.
Mourgue de Montredon, Mémoires de l'Acad. des Scienc., 1781.
Th. Barker, Transactions philosoph., 1784.
» Article *Iceland* de l'Encyclopédie d'Édimbourg.
Roberjot, Journal de physique, 1784.

LIVRE XVIII.

DE L'ÉLECTRICITÉ ANIMALE ET DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES CORPS ORGANISÉS.

CHAPITRE PREMIER.

DU COURANT PROPRE DE LA GRENOUILLE.

1er. *Du degré de sensibilité des diverses parties des nerfs, à partir de leur origine.*

1634. Depuis l'époque, à jamais mémorable, où Galvani démontra que le contact de deux métaux différents, en communication avec les muscles et les nerfs d'une grenouille, suffit pour la faire contracter, on a varié à l'infini les expériences, dans l'espoir de découvrir, dans ce phénomène, la cause qui entretient la vie dans les corps animés. Mais un fait encore plus remarquable et qui est dû également à Galvani, est celui qui est relatif aux contractions produites par le simple contact des muscles et des nerfs, sans l'intermédiaire d'armatures métalliques. Quelques physiciens ont essayé de démontrer, et M. Nobili le premier, que cet effet ne provient pas d'une action chimique, mais bien d'un courant propre à la grenouille.

D'un autre côté, Ritter, et plusieurs autres physi-

ciens (1), ont observé que l'irritabilité dans les parties qui sont séparées du corps de la grenouille, ne cesse pas en même temps dans tout le trajet du nerf; cette cessation commence par les parties les plus rapprochées du cerveau, et finit par celles qui en sont le plus éloignées. Muller avance encore qu'un nerf lié ou comprimé cesse d'être conducteur de l'agent qui circule dans les nerfs, quel qu'il soit, tout en restant néanmoins bon conducteur de l'électricité. M. Matteucci a remarqué un fait semblable dans la torpille, comme nous l'avons déjà dit; mais c'est surtout à l'égard de la grenouille que ses observations offrent un grand intérêt. Lorsque le nerf est lié, un courant électro-chimique simple passe à travers la ligature, et cesse de faire contracter la grenouille bien avant que son courant propre cesse d'agir; la ligature ne change en rien la conductibilité pour un courant, quelque faible qu'il soit. Dans l'animal vivant, lorsqu'on met en contact les muscles et les nerfs, les contractions sont plus faibles que celles qui sont produites par le courant propre de la grenouille après la mort; les contractions s'affaiblissent et manquent quand les parties sont bien essuyées; et si l'animal reste tranquille, le courant cesse presque toujours d'avoir lieu.

Si l'on place la grenouille entre deux morceaux de glace, pendant dix ou douze secondes, afin d'abaisser sa température, et qu'ensuite on la retire, le courant propre n'existe plus; en introduisant dans la bouche de l'oxigène, l'animal à l'instant s'agite, saute, et le courant propre reparaît pour s'évanouir ensuite, comme M. Matteucci l'a observé dans la torpille.

Lorsque les cuisses et les nerfs cruraux mis en contact ne donnent plus de contractions, si l'on coupe les nerfs près de la moelle épinière, et qu'on les touche de suite avec les cuisses, on a encore immédiatement des contractions. Quand tout signe du courant propre a disparu, si

(1) Physiologie de Muller, tom. 1, p. 603.

l'on retire le nerf sciatique de la cuisse et qu'on le replie sur les muscles de la jambe ou de l'autre cuisse, la cuisse correspondante au nerf touché se contracte; ce dernier fait rentre dans la loi signalée par Ritter, et que ce physicien avait reconnue à l'aide d'un courant électrique.

Ces observations tendent à prouver, comme plusieurs physiciens l'ont déjà admis, qu'il existe un courant électrique circulant continuellement dans les nerfs et les muscles de la grenouille vivante, au moyen d'un arc complet, lequel ne peut être rendu sensible avec nos appareils que lorsque l'animal se trouve dans un état de surexcitation, tandis qu'en préparant la grenouille à la manière de Galvani, on détruit l'arc complet, et l'on reconnaît aisément le courant propre.

§ II. *Des différentes parties du corps de la grenouille qui développent le courant propre, et des propriétés de ce courant.*

1635. M. Matteucci, convaincu de l'importance que peuvent avoir pour la physiologie des connaissances exactes sur le courant propre de la grenouille, a entrepris une série d'expériences (1), dans le but de nous éclairer sur quelques-unes de ses propriétés; je vais essayer de donner une idée des résultats auxquels il est parvenu.

On prend quatre capsules remplies d'eau légèrement salée et placées sur une même ligne; dans les deux capsules extrêmes plongent deux lames de platine en relation avec un excellent multiplicateur à fil long, puis l'on réunit ces deux capsules aux deux moyennes, au moyen de mèches de coton, humectées d'eau salée. Les deux capsules moyennes sont destinées à recevoir les diverses parties de l'animal mort ou vivant. Pour le préparer vivant, on enlève la peau des jambes, on coupe longitudinalement celle des flancs, et l'on tire avec des pinces en verre les nerfs cruraux,

(1) Bibl. univ. de Genève, t. xv.

Pour obtenir le courant, il n'est pas nécessaire que les deux parties de son corps plongées dans les capsules soient uniquement les nerfs et les muscles; il suffit de lui enlever la peau tout entière et de plonger les jambes dans une capsule, la tête et le dos dans l'autre. Dans l'un et l'autre cas, on a un courant qui va des jambes à la tête, comme l'a observé Nobili.

M. Matteucci a obtenu encore le courant propre, quand on fait naître des contractions en repliant la jambe sur le dos, sur les yeux, ou sur la moelle épinière; en enlevant entièrement les nerfs cruraux et même la partie de ces nerfs cachée dans les muscles de la cuisse, en plongeant d'un côté la jambe, de l'autre les muscles de la cuisse toute préparée. Ces derniers produisent également des contractions et des courants sensibles au galvanomètre.

1636. Supposons maintenant qu'on ait préparé une grenouille à la manière de Galvani, et qu'on ait coupé l'os qui réunit les deux cuisses, tout en laissant les deux nerfs cruraux attachés à un morceau de la moelle épinière. Les deux jambes étant alors détachées, on peut mettre à volonté la jambe en contact avec son nerf ou avec celui de l'autre jambe. Si le nerf touché est celui qui y correspond, les contractions sont très-fortes au contact, et elles ont rarement lieu à l'instant où l'on interrompt le courant. Quand le contact s'opère avec le nerf de l'autre jambe, c'est la jambe du nerf touché qui se contracte, tandis que l'autre reste tranquille. Ces contractions sont plus faibles que dans le premier cas. Si l'on détruit le contact, la jambe dont le nerf a été touché reste tranquille, et la contraction a lieu, au contraire, dans la jambe qui a touché.

M. Matteucci a remarqué que les grenouilles qui présentent cet effet, se contractent lorsqu'un courant électrique ordinaire est introduit directement, de même que lorsque étant dirigé en sens inverse, il cesse de passer. Il résulte de là qu'en touchant, avec une jambe de la grenouille, le nerf de l'autre jambe, le courant circule di-

rectement dans le nerf touché, et inversement dans les muscles et dans le nerf de la jambe qui touche. On obtient encore le courant de la grenouille en détruisant la communication du nerf avec la jambe.

1637. Le courant de la grenouille qui n'est sensible qu'à un multiplicateur d'un très-grand nombre de tours, est capable par cela même de traverser une colonne d'eau salée, d'un décimètre de longueur, et peut ainsi produire des effets électro-chimiques. Pour le prouver, on couvre le tendon d'une jambe d'un morceau de papier joseph, imbibé d'une solution d'iodure de potassium, et l'on reploie la jambe sur le nerf plusieurs fois de suite. On aperçoit, au bout de quelques secondes, une couleur jaunâtre sur les filets nerveux. Le courant de la grenouille passe donc des nerfs dans les muscles.

1638. Le courant de la grenouille est-il instantané ou continu? L'expérience suivante répond à cette question. En plongeant les nerfs et les jambes d'une grenouille préparée dans les capsules moyennes, comme il a été dit précédemment, l'aiguille a été déviée de suite de 25 à 30°; elle est revenue ensuite sur elle-même, s'est mise à osciller, et, après un certain nombre de secondes, elle s'est fixée à 3°. Cette dernière déviation a diminué très-lentement, car un quart d'heure après elle était encore de 2°. En retirant la grenouille, remettant tout de suite à sa place une mèche de coton humectée, on a eu une déviation de 15 à 20°, due à la polarisation des lames de platine. Quand la déviation a cessé, on a remis en place la grenouille, et la déviation est redevenue comme auparavant. Ces phénomènes peuvent être reproduits un grand nombre de fois.

Les faits précédents établissent donc bien le fait observé par Nobili, savoir : que lorsqu'un arc conducteur quelconque est placé entre les muscles et les nerfs de la grenouille, il circule un courant électrique continu, dirigé des jambes aux nerfs dans l'intérieur de l'animal, courant dont l'indication est masquée dans le multipli-

cateur par la polarisation des lames de platine destinées à transmettre le courant.

§ III. *Des causes qui modifient le courant de la grenouille.*

1639. Des grenouilles préparées conservent pendant plus ou moins de temps la propriété d'exciter des contractions par le contact de certaines parties de leur corps, et de donner des indications d'un courant avec le multiplicateur. Il faut une grenouille remplie de vivacité pour donner des contractions au bout d'une demi-heure, tandis que le multiplicateur accuse le courant de la grenouille au bout de plusieurs heures, comme Nobili l'a reconnu le premier. Les contractions cessent donc parce que le courant a une trop faible intensité pour les produire. Nous avons déjà vu que lorsque le nerf crural est devenu incapable d'exciter les contractions par son contact avec les muscles de la jambe, le nerf sciatique caché dans les muscles de la cuisse jouit de la faculté de produire de très-fortes contractions avec les mêmes muscles. Cet effet tient à l'excitabilité du nerf, qui va en diminuant depuis son origine jusqu'à ses ramifications les plus éloignées.

1640. Quand les contractions ont disparu, on peut les faire revenir en touchant les muscles avec une solution de potasse ou d'acide hydro-chlorique. L'application de ces mêmes substances sur le nerf n'est pas toujours suivie de contractions : la direction du courant reste la même, quelle que soit la nature de la solution employée.

L'état tétanique modifie aussi singulièrement le courant propre de la grenouille. On peut faire naître le courant tétanique en préparant rapidement une grenouille, ou en employant une solution de strichnine. L'influence du tétanos dans cette circonstance est telle, que ce courant cesse de se manifester lorsque la grenouille en est attaquée. Ainsi donc le courant cesse avec les contractions.

Il en est encore de même quand l'animal a été tué par le poison. Mais dès l'instant que le tétanos qui a été provoqué par une irritation mécanique a cessé, le courant de la grenouille reparaît aussitôt. On voit par là que la production des contractions est intimement liée avec l'existence simultanée du courant propre.

Nous avons vu précédemment qu'une grenouille vivante refroidie perd la faculté de se contracter par son courant propre, et qu'elle la reprend en élevant la température, si toutefois on n'a pas trop abaissé cette température. Les effets du refroidissement, tout en enlevant la contractilité, font perdre aussi à l'animal la faculté de produire un courant. Pour obtenir l'un et l'autre quand il est encore froid, il suffit seulement d'humecter la jambe d'une solution de potasse ou d'acide hydro-chlorique. Je ne dois pas oublier de dire que l'on a reconnu, depuis longtemps, que les contractions obtenues sur l'animal vivant sont toujours plus faibles que sur l'animal mort; qu'avec l'animal vivant, dès l'instant qu'elles ont disparu, il suffit, pour les voir reparaître, d'exciter la moelle épinière.

§ IV. *De la cause du courant de la grenouille.*

1641. Jusqu'ici on a attribué la production du courant de la grenouille, soit à l'inégale température des muscles et des nerfs, soit à la réaction des liquides différents qui adhèrent aux muscles et aux nerfs. La première explication ne peut soutenir l'examen, attendu que si l'inégalité de température existait, elle ne pourrait être que de courte durée, et dès lors le courant de la grenouille devrait cesser au bout de peu d'instants, ce qui n'est pas. Quant à la seconde explication, qui paraît plus naturelle, et que j'ai adopté depuis longtemps, M. Matteucci l'a combattue de la manière suivante: les muscles et les nerfs sont humectés de liquides qui ne sont ni acides ni alcalins, dès lors le courant électro-chimique devait provenir de la réaction de deux solutions neutres l'une sur l'autre; or,

s'il en était ainsi, comment expliquer, dans cette hypothèse, l'action du tétanos, du froid, de la ligature, de la potasse et de l'acide hydro-chlorique indifféremment? Ces observations ne manquent pas de justesse. Il paraît donc que le phénomène dépend de l'organisation des muscles et des nerfs, et en quelque sorte de la vitalité, d'une cause enfin qui subsiste encore quelque temps après la mort.

M. Matteucci ajoute quelques réflexions que j'ai eu l'occasion de faire quand j'ai traité de l'électricité animale: dans les recherches qui ont pour but de faire dépendre, en général, les contractions qui ont lieu sous l'empire de la vie, de l'électricité, il ne faut pas perdre de vue que les courants électriques des animaux doivent, aussi bien que les courants électriques ordinaires, exister à circuit fermé, sans cela il n'y aurait pas de courant. Il suivrait de là qu'il faudrait deux systèmes d'organes, deux ordres séparés de filets nerveux, les uns chargés de conduire les courants du centre aux extrémités, les autres de les ramener. Il fait observer, à cet égard, que la propagation de la sensation et de la contraction de chaque côté de la ligature d'un nerf, et la loi de Lehot et de Marianini, portent à croire qu'il pourrait bien exister quelque chose de semblable dans l'organisation des animaux. On peut objecter à cette manière de voir, qu'il peut y avoir commotion, sans l'existence d'un circuit fermé, comme la torpille, qui donne une commotion quand on la touche avec le doigt; mais on peut répondre à cela, qu'il se produit alors une décharge latérale. Au surplus, j'ai déjà traité assez complétement cette question dans le IVe volume, sans y revenir aujourd'hui. Je me bornerai à dire que les faits découverts depuis ne permettent pas de faire un pas de plus en avant pour étendre les rapports qui peuvent exister entre les forces vitales et les forces électriques.

§ V. *Des contractions et des sensations produites dans les animaux par l'effet du courant électrique.*

1642. On connaît les belles recherches de M. Marianini, concernant l'influence qu'exerce un courant électrique quand il parcourt les nerfs d'une grenouille dans le sens de leurs ramifications, ou dans le sens opposé. Dans le premier cas, il y a contraction; dans le second, douleur. M. Matteucci a repris ces recherches en commençant par étudier l'action d'un courant sur un nerf, quand il le traverse suivant sa longueur. Il a commencé par appliquer les deux pôles d'une pile vis-à-vis l'un de l'autre sur un filet nerveux et transversalement. Ce mode d'expérimentation ne lui ayant donné aucun résultat satisfaisant, une grenouille fut préparée comme à l'ordinaire, et il en coupa une moitié, de manière à avoir à sa disposition un morceau de moelle épinière, un nerf crural avec sa cuisse et sa jambe. Ayant lié la patte avec un fil de soie, il suspendit la jambe par ce moyen, de manière à faire tomber la presque totalité du nerf dans de l'eau contenue dans une capsule. Le morceau de moelle épinière, par son poids, maintient le nerf dans une position verticale. Deux fils métalliques, recouverts de vernis dans toute leur longueur, excepté à la pointe, furent plongés dans le liquide de la capsule, à la distance l'un de l'autre de 3 à 4 millimètres. Le nerf de la grenouille se trouvait à égale distance des deux fils que l'on mit en relation avec une pile de 15 couples, et même d'un plus grand nombre : la grenouille ne fut point contractée, et cela parce que le courant agissait transversalement sur le nerf.

1643. Voyons actuellement quels sont les effets du courant quand il passe au-dessus ou au-dessous de la ligature d'un nerf. On sait que les contractions produites par le courant d'une pile qui passe au-dessus de la ligature sont bien plus faibles que celles qui ont lieu avant la ligature, et qu'elles deviennent encore plus faibles

lorsqu'on a soin de poser la grenouille sur une lame de verre couvert de vernis.

M. Matteucci, pour étudier ces différents effets, a suspendu par un fil de soie, à un bâton de cire à cacheter, la moitié d'une grenouille, préparée comme il a été dit, après avoir lié son nerf au milieu de la longueur. La ligature fut serrée jusqu'à ce que l'on vît des contractions dans la jambe. Il fit passer ensuite le courant d'une pile de 15 à 60 couples dans la portion du nerf placée au-dessus de la ligature; il n'y eut point de contraction. Il n'en fut pas de même en faisant passer le courant dans la partie du nerf située au-dessous de la ligature : celle-ci empêche donc l'action directe qui passe au-dessus d'elle, comme elle empêche aussi l'action des stimulants.

1644. Voyons maintenant les observations que M. Matteucci a faites sur les effets physiologiques des alternatives voltaïques. Une grenouille préparée fut placée dans le circuit d'une pile de 30 couples, afin de la rendre insensible, ainsi qu'au multiplicateur. Lorsqu'on fut arrivé au point que la grenouille ne se contracta plus, on nota la déviation qui avait lieu, lorsque le courant commençait à passer. On renversa ensuite la position de la grenouille, et l'on fit passer de nouveau le courant. Dans un grand nombre de cas, on trouva que la grenouille se contractait toujours, tandis que la déviation de l'aiguille était, en général, à peu près la même, ce qui prouve que le courant, dans les deux directions, avait la même intensité. Le courant secondaire, qui est produit dans les membres d'une grenouille par le passage du courant, n'agissait pas non plus; car, s'il circulait dans le même sens que le courant primitif renversé, on avait une déviation plus considérable. Le phénomène des alternatives voltaïques est donc un phénomène physiologique.

Valli est le premier qui ait observé qu'en soumettant les différentes parties d'un filet nerveux à l'action d'un courant électrique, la première portion du nerf qui

devient incapable d'exciter des contractions par le passage du courant, est celle qui est la plus rapprochée de son origine.

1645. Pour remonter à la cause du phénomène, M. Matteucci a fait l'expérience suivante. On prend une grenouille pleine de vitalité, et on la fixe sur une planche avec quatre clous qui traversent ses pattes, le ventre en dessous; on découvre le nerf crural et le sciatique en enlevant tous les muscles, ainsi que l'os de la cuisse, et l'on fait passer ensuite le courant d'une pile de 15 couples dans le nerf au moyen de deux fils tenus à une distance de 3 à 4 millimètres, l'électricité positive dirigée vers la jambe; la grenouille pousse alors un cri très-fort au moment de l'introduction du courant : c'est le fait observé par M. Marianini. Cet effet est produit, quel que soit le point du nerf touché. Si l'on recommence l'expérience 5 minutes après, on trouve que la grenouille crie moins fort, et s'agite moins lorsqu'on touche la partie du nerf qui est près de la jambe, plutôt que celle qui est près de la moelle. En attendant encore 5 minutes, la grenouille ne crie plus quand on la touche près de la jambe; mais les cris recommencent quand on la touche près de la moelle épinière. En opérant avec le courant direct, on trouve que, sur le même individu, l'affaiblissement du nerf pour produire les contractions marche dans le sens opposé. M. Matteucci en conclut « que la « portion du nerf qui, lors de l'introduction du courant « direct, excite des contractions, s'éloigne d'autant plus « de son origine que l'animal s'affaiblit; et inversement, « la portion du nerf qui, lors de l'introduction du cou- « rant inverse, produit une sensation douloureuse, s'ap- « proche d'autant plus de l'origine du nerf, que l'animal « s'affaiblit. »

1646. Le courant électrique agit de la manière suivante sur la grenouille dans l'état de tétanos produit par la strichnine : si le courant est direct, c'est-à-dire, dans le sens de la ramification des nerfs, le tétanos augmente; et la grenouille revient comme elle était auparavant, lorsque

le courant cesse. Si le courant est inverse, c'est-à-dire, dans le sens contraire à la ramification des nerfs, le tétanos cesse à l'instant, pour reparaître quand le courant ne passe plus. M. Nobili avait déjà observé une partie de ces effets.

1647. En comparant l'action du courant à celle des stimulants pour produire les contractions, on trouve les différences suivantes : 1° avec le courant électrique, il y a une séparation bien tranchée entre les phénomènes de contraction, suivant la direction du courant dans le nerf; pour les stimulants ordinaires, ces deux effets sont simultanés;

2° Le courant électrique persiste bien plus longtemps à produire les contractions et les sensations que les stimulants;

3° Le repos ou l'action d'un courant électrique dirigé en sens contraire du premier, peut rétablir l'activité d'un nerf, ce que ne font point les autres stimulants;

4° Les poisons, comme l'acide prussique, la morphine, détruisent l'activité du nerf pour les stimulants, et non pour les courants;

5° Le courant électrique, suivant sa direction, produit des contractions ou des sensations, lorsqu'il cesse d'agir, et rien de semblable n'a lieu avec les stimulants.

Je suis entré dans de grands développements touchant l'action physiologique de l'électricité, parce que c'est elle qui peut nous révéler jusqu'à quel point elle intervient dans les phénomènes de la vie.

§ VI. *Application de l'électricité au tétanos.*

1648. Les expériences précédentes, et surtout celles de M. Nobili, relatives au traitement du tétanos au moyen de l'électricité, ont engagé M. Matteucci à reprendre cette question, dont la solution serait d'une grande importance pour l'art de guérir.

Pour produire le tétanos dans une grenouille, il suffit de la préparer rapidement en lui enlevant la peau et

effilant la moelle épinière. On obtient encore le même effet. en faisant passer un courant électrique dans les muscles un grand nombre de fois successivement et à des intervalles rapprochés.

1649. Volta nous a appris que le passage continué et toujours dans le même sens d'un courant dans les muscles détruit la contractilité. C'est en partant de ce fait que M. Matteucci a appliqué sur la grenouille la méthode de M. Nobili pour faire cesser le tétanos. Divers essais lui ont montré, relativement à la direction du courant et à la manière de l'appliquer, qu'on doit faire en sorte que la première introduction du courant produise la plus faible contraction possible. Il crut reconnaître, d'un autre côté, que les grenouilles tétanisées se rétablissent plutôt sous l'influence du courant inverse. Quand le courant électrique est intense, il faut avoir l'attention d'établir la circulation du courant d'une manière lente; il faut pour cela toucher la peau et les muscles avec des morceaux de toile, dont on enveloppe les extrémités des conducteurs. Ces morceaux de toile sont humectés d'abord avec de l'eau distillée, puis avec de l'eau rendue conductrice avec du sel marin. Enfin, on remplace la première pile par une autre plus active. Voici une expérience que M. Matteucci a faite, à Ravenne, conjointement avec M. le docteur Farina, sur un individu atteint du tétanos. Le tétanos subsistait depuis huit jours, et provenait d'un grand nombre de grains de plomb introduits dans les muscles et les tendons par suite d'un coup de fusil. La pile employée était composée de 35 couples de 8 centimètres de large, et chargée avec de l'eau salée légèrement acidulée. On fit usage successivement de 25 et 30 couples. Le courant fut dirigé de l'extrémité de la moelle épinière au cou, et son passage fut continué pendant une demi-heure. La pile ne fut renouvelée qu'une seule fois. L'expérience fut répétée six fois en deux jours, et chaque fois, aussitôt que le courant était établi, le malade devenait plus tranquille, sa bouche s'ouvrait, les muscles se détendaient, la peau s'humectait, et la

circulation reprenait son cours naturel, car le malade éprouvait un tel bien-être qu'il demandait constamment à être soumis au traitement. Malheureusement ces améliorations ont été de courte durée; le malade succomba le deuxième jour. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus par M. Matteucci doivent engager les médecins à essayer de nouvelles tentatives, sur des malades atteints depuis peu de temps du tétanos.

CHAPITRE II.

NOUVELLES RECHERCHES SUR LES PHÉNOMÈNES DE LA TORPILLE.

1650. M. John Davy, comme je l'ai déjà dit (111), a fait connaître, en 1832, sur la décharge de la torpille, une foule de faits importants, tels que l'action de la décharge sur l'aiguille aimantée et les composés chimiques. Mais la direction du courant électrique produit dans cette circonstance n'a été bien connue qu'après les expériences que j'ai faites à Venise, en 1835, conjointement avec M. Breschet, et desquelles il résulte que la partie supérieure de l'organe électrique fournit à la décharge l'électricité positive, et la partie inférieure l'électricité négative.

M. Matteucci a vérifié, avec le galvanomètre et les grenouilles préparées à la manière de Galvani, les observations que nous avons faites à cet égard, ainsi que d'autres également relatives à la torpille qui sont dues à divers physiciens; mais il a trouvé, en outre, des faits nouveaux, dont voici les principaux:

Il a d'abord remarqué que lorsque la torpille lance sa décharge, on n'aperçoit dans son corps aucun changement de volume. Quand l'animal est doué d'une grande vitalité, la commotion se fait sentir, quels que soient les points du corps touchés; mais quand la vitalité est très-diminuée, la décharge n'est plus sensible qu'en touchant en deux points différents les organes électriques.

Voici comment M. Matteucci établit les lois générales

de la distribution de l'électricité dans la torpille : 1° tous points de la partie dorsale de l'organe sont positifs relativement aux points de la partie ventrale, fait déjà connu; 2° les points de l'organe sur la surface dorsale placés au-dessus des nerfs qui le pénètrent, sont positifs à l'égard des autres points de la même face dorsale; 3° les points de l'organe situés sur la face ventrale, correspondants aux points qui sont positifs sur la surface dorsale, sont négatifs à l'égard des autres points de la surface ventrale; 4° l'intensité du courant varie avec l'étendue des lames de platine qui terminent le galvanomètre, et avec lesquelles on touche les deux faces de l'organe.

Lorsque la torpille est très-excitable, le courant peut être comparé à celui d'une pile d'un grand nombre de couples chargée avec un liquide actif, bon conducteur; et quand sa vitalité s'affaiblit, le courant électrique se rapproche de celui d'une pile composée d'un petit nombre d'éléments.

1651. L'étincelle qui accompagne la décharge dans les poissons électriques a été aperçue, pour la première fois, par Walsh, sur le gymnote; mais on a fait depuis de vains efforts pour la reproduire. MM. Matteucci et Linari sont parvenus à l'obtenir, à volonté, sur la torpille; ces deux physiciens réclament, l'un et l'autre, la priorité de l'observation. Mais il paraîtrait, d'après les renseignements que nous avons recueillis, que M. Matteucci a eu le premier l'idée d'employer, à cet effet, l'extracourant de M. Faraday, dont M. Linari n'a fait usage qu'après que son compatriote lui en eut donné avis.

M. Matteucci est parvenu depuis à obtenir l'étincelle en posant la torpille sur un plat de métal isolé, et plaçant dessus un autre plat de métal; puis fixant sur chacun d'eux une feuille d'or, l'une et l'autre éloignées d'un $\frac{1}{2}$ millimètre. En mouvant légèrement le plat métallique supérieur, on irritait l'animal, et au même instant les deux feuilles se rapprochaient, et l'on voyait aussitôt éclater l'étincelle.

Ce physicien a étudié avec soin les causes intérieures et extérieures qui influent sur la décharge de la torpille. Parmi les causes extérieures, on distingue, outre l'excitation mécanique, la chaleur. Dans de l'eau à 18° R., la torpille ne vit ordinairement que cinq à six heures, en conservant toute sa puissance électrique; en abaissant la température, cette puissance cesse aussitôt. En échauffant l'eau, les décharges recommencent; mais si l'on porte la température à + 30 R., comme nous l'avons observé aussi nous-même, l'animal, après quelques décharges, éprouve de fortes contractions, et meurt dans un état tétanique.

1652. M. Matteucci, ayant analysé l'air renfermé dans l'eau de la mer, a déterminé les changements qui en résultent par la respiration de la torpille. Suivant les observations qu'il a faites à cet égard, quand la torpille est tourmentée, elle respire plus que celle qui ne l'est pas; et ce qu'il y a de singulier, si le fait est exact, c'est que la première, dans les mêmes circonstances, produit moins d'acide carbonique que l'autre. Il paraîtrait, en général, que l'intensité de la force électrique est proportionnelle à la force de la circulation et de la respiration.

1653. L'action des poisons les plus énergiques produit les effets suivants : l'hydro-chlorate de strychnine introduit dans la bouche et l'estomac d'une torpille détermine presque immédiatement de fortes contractions dans la colonne vertébrale, lesquelles sont accompagnées de décharges énergiques, puis de décharges moindres, et l'animal expire dans des convulsions violentes. L'hydrochlorate de morphine produit de très-fortes décharges, huit ou dix minutes après son introduction dans l'animal, qui en donne quelquefois, en dix minutes, plus de soixante.

Le courant d'un appareil électrique composé d'une trentaine de couples, dirigé de la bouche aux branchies et à la peau de l'intérieur de l'organe, détermine de fortes décharges. L'électricité n'agit probablement dans cette circonstance que comme un excitant énergique.

M. Matteucci ayant coupé la moitié de l'organe, soit horizontalement, soit verticalement, et ayant placé entre les parties séparées une lame de verre, la décharge eut encore lieu; il en fut encore de même quand l'organe ne tenait plus à l'animal que par un filet nerveux; les effets ne cessèrent que lorsque la substance même de l'organe fut coagulée par l'action des acides ou de l'eau bouillante.

Nous ferons remarquer, à cet égard, que plusieurs physiciens, et particulièrement Galvani, ont fait des expériences analogues. Ils ont trouvé, par exemple, que, si l'on coupe les quatre nerfs de l'un des organes, la décharge cesse aussitôt dans cet organe, tandis qu'elle se manifeste dans l'autre; et que si l'on se borne à couper deux ou trois nerfs, la commotion est limitée aux points correspondants aux nerfs restés intacts. Ils ont conclu enfin de leurs observations, que le cerveau et les troncs nerveux exercent une influence déterminante sur la faculté électrique de la torpille. M. Matteucci est parvenu aux mêmes conséquences; mais, comme on va le voir, il a précisé mieux qu'on ne l'avait fait avant lui l'étendue de cette influence.

Si l'on lie les nerfs, on produit les mêmes effets qu'en les coupant. Quand les nerfs ont été coupés, si l'on tire avec une pince un des troncs nerveux qui se ramifient dans l'organe, on obtient encore quelques décharges.

Le cerveau étant mis à découvert, si l'on en irrite certaines parties avec un corps quelconque, la décharge se manifeste aussitôt. Les premiers lobes (les cérébraux) peuvent être irrités, coupés et même détruits sans que la décharge disparaisse : il en est de même du troisième lobe; quant au quatrième, on ne peut le toucher sans avoir de fortes décharges; en le détruisant, quand bien même on laisse subsister les autres, la puissance électrique de l'animal est anéantie. Cette observation doit intéresser vivement les physiologistes en raison de sa singularité.

Quand l'animal est dans un état de torpeur tel qu'il

ne donne plus de décharges en employant les excitants ordinaires, si l'on découvre le cerveau, et que l'on touche le lobe électrique, les décharges apparaissent avec force, allant indifféremment du dos au ventre et du ventre au dos; tandis qu'il ne se produit aucun effet en irritant les autres parties du cerveau. En employant l'électricité comme excitant, on obtient un résultat analogue.

M. Matteucci ayant séparé entièrement d'une grosse torpille l'un des organes électriques sans détacher la peau, l'une des lames du galvanomètre fut insérée dans l'organe, près du bord extérieur, et l'autre lame fut mise en communication avec l'un des quatre nerfs : l'aiguille aimantée fut déviée de 4° dans le sens ordinaire de la décharge de la torpille. En liant les nerfs, il n'y eut plus de déviation. Ce résultat est encore digne de l'attention des physiologistes.

Les observations précédentes tendent à prouver 1° que l'électricité qui produit la décharge, émane du dernier lobe du cerveau, et est transmise par les nerfs à l'organe; 2° que la décharge, cessant sous l'influence du courant électrique lorsque les nerfs sont liés, a besoin, pour être transmise, de trouver dans le nerf une disposition moléculaire particulière; conséquence à laquelle conduisent également les phénomènes physiologiques de la grenouille, comme je l'ai indiqué à plusieurs reprises dans cet ouvrage.

D'un autre côté, M. Flourens avait déjà prouvé, par des expériences directes, publiées en 1825, que le quatrième lobe du cerveau est, dans les poissons ordinaires, l'organe encéphalique spécial de la respiration : un côté de ce lobe étant retranché, le mouvement de l'opercule de ce côté est sur-le-champ aboli; le mouvement de l'opercule du côté opposé subsiste. Le lobe étant enlevé en entier, le jeu des deux opercules est aussitôt éteint.

M. Flourens a prouvé, en outre, que l'action du quatrième lobe (du lobe placé derrière le cervelet) sur les opercules subsiste encore complétement après l'ablation

de toutes les autres parties de l'encéphale, comme après l'ablation de la moelle épinière, soit que ces deux ablations du reste de l'encéphale et de la moelle épinière soient faites séparément, soit qu'elles soient faites simultanément.

1654. M. Matteucci a fait encore d'autres observations sur la torpille (1), qui sont pleines d'intérêt, et dont je dois faire mention ici. Il s'est d'abord attaché à constater la distance à laquelle le courant de la torpille se répand dans une masse d'eau, et en dehors du circuit qu'on établit entre les deux faces de l'organe. Il a vu une torpille exciter des contractions dans des grenouilles plongées dans une cuve d'eau, et qui en étaient éloignées d'un mètre. En comparant cette propriété à celle d'une pile quelconque, dont les effets ne s'obtiennent que sur la ligne qui réunit les deux pôles, il a reconnu, comme on l'avait déjà remarqué, que la décharge de la torpille diffère de beaucoup de celle de la bouteille de Leyde, et qu'elle a un caractère qui est propre à l'animal.

Un des organes de la torpille a été plongé dans de l'eau à + 2°, tandis que l'autre était dans l'air à + 22°. Dix minutes après, on pouvait irriter l'organe refroidi sans obtenir de décharge, ce qui n'avait pas lieu pour l'autre. Le cerveau ayant été découvert et refroidi, en opérant de la même manière, on n'obtint aucune décharge, bien qu'on irritât et qu'on blessât même l'animal; la commotion n'était obtenue qu'en touchant le quatrième lobe.

1655. En étudiant l'influence des nerfs qui vont à l'organe, M. Matteucci s'est assuré que ces nerfs, lors même qu'ils sont séparés du quatrième lobe, produisent encore la décharge quand on les irrite.

Pour montrer cet effet, on prend une torpille bien vivante, dont on découvre le cerveau et les nerfs avec la lame d'un rasoir. Les nerfs ayant été détachés du cer-

(1) Bibl. univ. de Genève, t. VI.

veau, on serre ce dernier avec une pince. On obtient alors de très-fortes décharges, mais qui sont limitées à la partie de l'organe dans laquelle se ramifie le nerf irrité.

M. Matteucci avait déjà observé que le courant électrique qu'on fait circuler du cerveau à l'organe, rend apte une torpille à lancer sa décharge, quand elle a perdu la faculté de la produire naturellement. Il s'était assuré aussi que cet effet ne pouvait pas être rapporté à une portion du courant de la pile qui aurait passé dans les grenouilles et dans le multiplicateur. L'expérience suivante lève tous les doutes à cet égard. On prend une torpille vivante dont on découvre le cerveau et les troncs nerveux qui se rendent à l'organe. On la pose ensuite sur une lame de verre vernissée, et l'on pose sur l'organe des grenouilles préparées, puis l'on met les deux lames du multiplicateur en contact, l'une sur le dos, l'autre sur le ventre. Ces dispositions faites, on place les conducteurs en platine d'une petite pile à auge de 15 couples sur un des nerfs de l'organe, à la distance de 2 ou 300 centimètres. Les grenouilles éprouvent aussitôt de fortes contractions, et l'aiguille du multiplicateur est déviée de 8 ou 10° dans le même sens que celui de la décharge ordinaire, et cela, quel que soit le sens du courant provenant de la pile. Ce courant appliqué à toute autre partie de la torpille ne produit aucun effet. Les décharges ainsi obtenues sont limitées à la portion de l'organe dans laquelle se ramifie le nerf irrité par le courant. Quand le quatrième lobe est parcouru par le courant électrique, alors toute la surface de l'organe devient apte à lancer la décharge. En liant les nerfs, on n'obtient plus de décharge en faisant passer le courant au-dessus de la ligature. Lorsqu'on opère avec une torpille pleine de vitalité, on obtient encore des signes de décharge à l'instant où l'on interrompt le circuit voltaïque.

Enfin, M. Matteucci a tiré les conséquences suivantes des faits qu'il a observés : 1° Toute action extérieure ou irritation exercée sur le corps de la torpille vivante, et qui

détermine la décharge électrique, est transmise, par les nerfs, du point irrité au quatrième lobe du cerveau. 2° Toute irritation exercée sur ce quatrième lobe, et sur les nerfs qui en sortent et qui vont à l'organe, est suivie d'une décharge électrique sans aucune espèce de contraction.

La liaison qui existe entre le quatrième lobe et les nerfs qui en partent, d'une part, et la substance de l'organe, de l'autre, est précisément la même que celle qui se trouve entre un nerf quelconque et les muscles dans lesquels il est ramifié. Dans le cas de la torpille, quand on agit sur son quatrième lobe et sur ses nerfs, on a la décharge électrique, dans l'autre cas la contraction. Toutes les causes qui déterminent ou empêchent la contraction sont également celles qui favorisent ou détruisent la décharge de la torpille. J'ajouterai que, lorsque toute action stimulante a déjà cessé de déterminer la décharge de la torpille, le courant électrique a encore ce pouvoir. Ce fait remarquable semble nous indiquer une analogie entre la puissance nerveuse et l'électricité.

§ Ier. *Recherches sur les propriétés chimiques de la torpille.*

1656. Le P. Linari a fait aussi sur la torpille des expériences dont plusieurs présentent quelque intérêt. Pour mesurer l'intensité des courants et leur rapport avec la torpille, il a employé la balance électro-magnétique (1), le galvanomètre comparable de Nobili, et une pile thermo-électrique, formée de 25 éléments, et accusant une différence constante de 36° pour la différence comprise entre la glace fondante et l'eau bouillante. Voici quelques-uns des résultats qu'il a obtenus :

Un élément voltaïque ayant été plongé dans un vase rempli d'eau distillée pendant 12 secondes, le courant fit

(1) Tom. v, 1re part., p. 209.

dévier l'index de la balance de 0°,7; l'élément ayant été retiré de moitié, la déviation fut réduite à 0,25. Les poids correspondants nécessaires pour rétablir l'équilibre étaient, l'un de 6 milligrammes, l'autre de 2,25 mill. On substitua ensuite au courant voltaïque celui résultant de la décharge électrique d'une torpille de dix pouces et demi de diamètre, et obtenu avec deux lames de platine. L'index fut dévié de 0°25. Comme ci-dessus, pour ramener l'équilibre, on fut obligé d'ajouter un poids de 2,25 mill. Ces résultats ont donné le rapport suivant:

$$\begin{matrix} 2,25 \text{ et } 8,25 \\ 6 : 2,25 :: 5,35 : 1 ; \end{matrix}$$

d'où suit qu'en comparant les intensités des courants galvaniques avec ceux de la torpille, on a pour rapport l'égalité dans un cas, et sensiblement 5 : 1 dans l'autre. Ainsi le courant occasionné par la décharge de l'animal a été 5 fois moins énergique que celui développé par l'élément voltaïque lors de son immersion totale.

1657. Le P. Linari fait observer que dans l'intervalle de 12 secondes que dura l'expérience, la torpille parut lancer quelques petites décharges qui ne firent point mouvoir la balance. Il a cru cependant remarquer que la somme de ces décharges pouvait être considérée comme une décharge unique, pendant les 12 secondes, ce dont il a pu apprécier les effets.

Il a fait passer ensuite dans l'un des 4 fils du galvanomètre comparable la forte décharge d'une torpille de 9 pouces de diamètre. L'index correspondant à ce fil fut dévié de 33°. D'autres torpilles produisirent des déviations de 10°, 8° et 5°; les intensités correspondantes à ces déviations étaient 227,09; 12,21; 9,4; 5,2. Je ferai remarquer, relativement à l'intensité de ces courants, que l'animal, étant maître de lancer la décharge à volonté, et par conséquent d'en modifier l'intensité, ces résultats ne peuvent avoir un grand intérêt scientifique.

1658. Ce physicien s'est occupé encore des effets calo-

rifiques produits par les courants électriques de la torpille. Ayant introduit, à cet effet, un élément thermo-électrique horizontal, bismuth et antimoine, soudé transversalement dans la boule d'un thermomètre à air très-sensible, il a pu constater 1° l'existence des effets calorifiques produits par les courants qui partent de la surface supérieure de l'organe de la torpille; 2° celle des courants dirigés du cerveau à la surface inférieure de l'organe.

Les courants qui sont ainsi produits se manifestent lorsqu'on touche avec l'électrode quelqu'une des paires de nerfs qui appartiennent au lobe encéphalique dont M. Matteucci a découvert la sensibilité électrique, et particulièrement à celui dont les ramifications se dirigent principalement de l'opercule aux branchies et à l'organe électrique.

Voici la série des effets obtenus avec diverses décharges. Les signes +, —, indiquent la température supérieure ou inférieure de l'air ambiant, selon que les courants passent de l'antimoine au bismuth, et du bismuth à l'antimoine.

Séries des températures données par le courant qui circule du cerveau à la surface inférieure de l'organe électrique.

1re *série.* + 0°, 5; + 2°, 0; + 1°, 0; + 0°, 25.
2e *série.* — 1°, 0; — 1°, 5; — 0°, 7; — 0°, 3.

La plus haute température est + 2°; la plus basse, — 1°, 5.

Séries des températures des courants qui vont du dos au bas-ventre.

1re *série.* + 0°, 5; + 1°, 0; + 1°, 6; + 1°, 1; + 1°, 6; + 1°, 2.
2e *série.* — 2°, 0; — 1°, 4; — 1°, 0; — 1°, 5; — 1°, 1; — 2°, 1.

La température la plus élevée est + 1°, 6; la plus basse — 2°, 1.

Une torpille excitée d'une manière continue, pendant quatre minutes environ, a donné, plusieurs fois de suite, des décharges qui ont produit un courant, dont le P. Linari a étudié l'effet calorifique.

En commençant par faire passer, pendant quatre minutes, les courants voltaïques, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, à travers l'élément thermo-électrique, les uns ont donné pour température maximum + 6°, les autres pour température minimum — 5°. Ayant fait passer ensuite dans les mêmes conditions les courants de la torpille, il a obtenu pour les deux décharges, les séries de température suivantes, dans lesquelles chaque terme est la somme des effets produits sur le thermomètre par les commotions correspondantes effectuées dans le même espace de temps.

1re *série.* + 1°, 0; + 1°, 25; + 1°, 2; + 2°, 3.
2e *série.* — 1°, 0; — 2°, 5; — 2°, 6; — 4°, 0.

La plus haute température est + 2°,3; et la plus basse, — 4°, 0.

En comparant les températures les plus hautes et les plus basses, produites soit par les courants voltaïques, soit par les courants de la torpille, on en déduit les rapports suivants : pour les deux courants allant de l'antimoine au bismuth, le rapport est :: 6 : 2,5; pour les deux courants allant du bismuth à l'antimoine, le rapport, abstraction faite du signe, est :: 5 : 4. Ainsi les rapports entre les températures produites par le courant de la torpille, allant du dos au bas-ventre, et par le courant voltaïque, seraient $\frac{2}{5}$ dans un cas, et $\frac{4}{5}$ dans l'autre.

1659. Le P. Linari a cherché à produire avec les courants de la torpille les anneaux colorés que M. Nobili a obtenus avec les courants voltaïques. Il a réussi à pro-

duire ces anneaux non-seulement avec des torpilles grosses et vigoureuses, mais encore avec des torpilles de petites dimensions. Les anneaux colorés de couleur claire et distincte ont été obtenus facilement avec la solution d'acétate de plomb. Les anneaux formés sur les métaux oxidables ne résistaient pas aussi bien au frottement que ceux de Nobili.

M. Faraday, tout récemment, a fait aussi, sur le *gymnotus electricus*, quelques expériences qui lui ont prouvé que les phénomènes électriques que présente cet animal sont de même ordre que ceux produits par nos appareils. Il a obtenu successivement, avec la décharge de cet animal, la décomposition chimique, la déviation de l'aiguille aimantée dans le galvanomètre et une élévation de température dans les fils conjonctifs.

M. Faraday, aidé de MM. Owen et Grant, a fait plusieurs préparations de gymnotes et de torpilles. Dans la torpille, comme nous l'avons dit, l'organe électrique est double et se trouve de chaque côté de l'épine dorsale; il consiste en une réunion de colonnes formées de la mince et membraneuse, de cellules intermédiaires contenant un fluide; dans le gymnote, l'organe occupe les $\frac{9}{10}$ du poisson et se compose de 4 colonnes qui marchent parallèlement avec l'épine; deux sont grosses, deux autres, moindres. L'appareil, dans ce poisson, comme dans la torpille, est formé de lames membraneuses disposées de la même manière; dans l'un et dans l'autre, les nerfs qui se ramifient dans l'organe électrique, ont un volume considérable.

Nous avons vu aussi que la force électrique développée par ces poissons est en raison directe de la force nerveuse qu'ils possèdent; l'action électrique est ordinairement suivie d'un affaiblissement, de même que l'action musculaire; ainsi tout concourt à prouver, comme le pense M. Faraday, que la force nerveuse peut être convertie en force électrique, comme l'électricité

peut développer de la chaleur; mais on ne peut dire que la réciproque soit vraie, c'est-à-dire que l'influence nerveuse puisse être produite par l'électricité.

Quoi qu'il en soit, l'étude des rapports entre la force électrique avec la force nerveuse est de la plus haute importance pour la philosophie naturelle.

CHAPITRE III.

INFLUENCE DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LE MOUVEMENT DE CERTAINES PARTIES DES CORPS ORGANISÉS.

§ Ier. *Influence de l'électricité sur la circulation du chara.*

1660. L'OBSERVATEUR qui est témoin, pour la première fois, du mouvement circulaire de globules de la lymphe dans le chara, est porté à l'attribuer à l'électricité. En effet, ces globules, dirigés de bas en haut, redescendent, dès l'instant qu'ils rencontrent un nœud ou une ligature qui s'oppose à leur mouvement, pour remonter et ainsi de suite; d'où résulte un mouvement de rotation qui a de l'analogie avec celui de l'électricité dans un circuit fermé. Si l'on examine avec attention la constitution du nœud, on y trouve un diaphragme qui arrête les globules et les force à redescendre. En enlevant ce diaphragme, les globules sortent par l'ouverture et se disséminent dans l'eau. Les stries parallèles de globules verts, situés à la paroi interne du tube central du chara, paraissent avoir une grande influence sur les mouvements de la lymphe, puisqu'ils s'exercent uniquement selon la direction de ces mêmes stries.

On a considéré les globules verts comme des couples voltaïques, et leur série comme des piles; mais cette hypothèse ne repose sur aucun autre fait que le mouvement rotatoire dont nous venons de parler.

Nos connaissances en électricité sont tellement avan-

cées aujourd'hui, que l'on a les moyens directs de s'assurer si un phénomène de mouvement dépend immédiatement ou non de l'électricité. Le physiologiste et le physicien doivent donc se réunir pour discuter ensemble toutes les questions de cette nature qui concernent les phénomènes de la vie. Guidés par cette manière de voir, nous avons étudié, M. Dutrochet et moi, le mouvement de la lymphe dans le chara, afin de savoir si l'on devait lui attribuer ou non une origine électrique.

La chaleur et l'électricité dérivant du même principe, suivant toutes les apparences, et manifestant souvent leur action en même temps, nous devons rappeler d'abord en peu de mots le genre d'influence que la chaleur exerce sur les phénomènes du chara, afin de présenter dans le même cadre les faits généraux relatifs au mode d'action de ces deux principes.

Suivant les observations de l'un de nous, la circulation du chara est très-lente à zéro, et s'accélère à mesure que la température monte, et devient très-rapide à 18 ou 19° c.; elle diminue ensuite, et à 27° elle est extrêmement ralentie. Sous cette même influence, sa vitesse augment peu à peu, et, deux heures après, elle possède une grande rapidité.

Si l'on continue à élever la température d'abord jusqu'à 34°, ensuite jusqu'à 40°, on observe des effets semblables, c'est-à-dire, que la plante, après avoir éprouvé une diminution dans la vitesse de sa circulation, reprend peu à peu cette vitesse. Ce n'est qu'à 45° que le mouvement rotatoire s'arrête pour ne plus reparaître.

Toutes les fois que la plante éprouve un changement brusque de température, de 25° environ, le mouvement rotatoire s'arrête complétement, et reprend quelque temps après.

En général, l'abaissement de température diminue la vitesse de la circulation, tandis que l'élévation de température, quand elle ne dépasse pas certaines limites, l'augmente; au delà il y a ralentissement dans la vitesse.

Le froid tend bien à ralentir la circulation; mais la

réaction vitale lui donne une nouvelle vitesse, pas aussi grande, à la vérité, que celle qu'elle acquiert sous l'influence de la réaction sous l'élévation de température.

Nous allons montrer actuellement que l'électricité produit des effets qui ont de l'analogie avec les précédents, mais qui en diffèrent cependant sous certains rapports. Les expériences ont été faites avec un microscope d'un grossissement moyen. La tige du chara, dépouillée de son écorce, a été mise sur un verre légèrement concave, avec une petite quantité d'eau, et ses deux extrémités ont été recouvertes de feuilles très-minces de platine, afin de mieux établir la communication avec deux fils de platine en relation avec les deux pôles d'une pile.

Si le mouvement de la lymphe, qui est dirigé dans le sens des stries des globules verts, est dû à l'électricité, on doit pouvoir l'accélérer ou le ralentir en soumettant la plante à l'action d'un courant dirigé dans le sens de ses séries. Pour nous en assurer, nous avons placé une tige de chara dans une hélice dont les circonvolutions, toujours parallèles à ses stries ou séries de globules verts, se trouvaient dans un plan horizontal; puis nous avons fait passer dans cette hélice la décharge de piles fortement chargées, composées depuis 10 jusqu'à 30 éléments, sans apercevoir ni augmentation ni ralentissement dans la vitesse des globules du chara. L'hélice a encore été placée de manière que ces circonvolutions, toujours parallèles aux stries, se trouvaient dans un plan qui lui était perpendiculaire. Le courant électrique, quelle que fût sa direction, n'a exercé aucune influence sur le mouvement rotatoire. La direction des circonvolutions a été changée de nouveau, et l'on a eu constamment des résultats négatifs. Il paraîtrait donc que le mouvement des globules n'est pas dû à l'électricité; on doit, suivant les apparences, l'attribuer à une force particulière, dont la nature nous est tout à fait inconnue.

L'action des courants par influence ne nous ayant rien appris, il ne restait plus qu'à transmettre le cou-

rant électrique à travers la tige même du chara. Or, quand l'électricité traverse les corps, elle y produit des actions chimiques ou des effets physiques qui sont accompagnés d'effets calorifiques. Nous n'avons eu égard, dans nos expériences, qu'aux effets physiques.

1re *Expérience.* Une tige de chara ayant été placée avec un peu d'eau ordinaire sur une lame de verre concave, on a fait passer dans cette tige, tantôt de haut en bas, et tantôt de bas en haut, le courant provenant d'un certain nombre de couples d'une pile chargée depuis deux jours, avec de l'eau renfermant $\frac{1}{100}$ de son poids de sel marin. On a employé successivement un, deux, trois couples; au troisième couple, le mouvement de rotation a été arrêté instantanément. Le courant électrique ayant été interrompu pendant quelques minutes, le mouvement rotatoire a repris sa vitesse primitive. L'expérience ayant été recommencée, il a fallu employer cinq couples pour arrêter le mouvement.

2e *Expérience.* On a fait passer le courant de manière que le pole fût mis en communication avec le haut de la tige. Le mouvement rotatoire a été arrêté en employant deux couples; après quelques instants d'interruption, il n'a pas tardé à recommencer; il a fallu alors six couples pour l'arrêter.

3e *Expérience.* On a opéré avec une autre tige dans laquelle le mouvement des globules était très-actif : on a pu augmenter alors la force de la pile depuis un, deux, trois, jusqu'à vingt couples, sans apercevoir de diminution dans la vitesse. En passant de vingt à trente couples, le mouvement s'est arrêté subitement.

4e *Expérience.* On a recommencé les mêmes séries d'observations avec une pile chargée seulement avec de l'eau de Seine, afin d'avoir un courant faible qui ne fût pas capable de réagir chimiquement d'une manière sensible sur les parties constituantes de la plante. Le pôle négatif correspondait au haut de la tige; il a fallu employer neuf couples pour arrêter le mouvement rotatoire. La direction du courant ayant été changée,

le mouvement rotatoire a été arrêté avec cinq couples.

Au lieu d'interrompre le circuit comme dans les expériences précédentes, on a continué à laisser cheminer le courant dans le chara. Le mouvement a recommencé au bout d'une minute avec une vitesse successivement croissante. Cinq minutes s'étant écoulées, on a ajouté trois couples les uns après les autres; au troisième couple, le mouvement rotatoire a été interrompu, mais il a recommencé au bout d'une minute; cinq minutes après, on a augmenté successivement de cinq couples le circuit, et au cinquième, le mouvement a été arrêté net, puis il a recommencé au bout d'une minute. Cinq minutes après, on a pu ajouter quatorze couples au courant sans suspendre le mouvement immédiatement; mais il s'est arrêté au bout d'une minute, et n'a repris qu'après un intervalle de plusieurs heures, quand il n'a plus été sous l'influence du courant; on est donc parvenu à faire passer le courant d'une pile de trente couples dans la tige du chara, en augmentant successivement son intensité.

5e *Expérience*. En soumettant à l'expérience un chara très-actif, le pôle positif étant en rapport avec la base de la plante, le mouvement a été arrêté à quinze couples et a repris au bout d'une minute d'influence; quatre minutes après, on a ajouté successivement un, deux, trois, jusqu'à quarante couples, et le mouvement a été arrêté au quarantième; il a repris au bout de cinq minutes. On a augmenté ensuite le nombre des couples jusqu'à cinquante-cinq, et le mouvement s'est arrêté quelques minutes après, et il a repris au bout de deux minutes.

6e *Expérience*. On a employé une pile qui n'avait pas servi depuis longtemps, et dont la surface des couples n'était pas par conséquent décapée; on l'a chargée avec de l'eau de Seine, afin que la réaction de ce liquide sur le zinc fût très-faible. Voici les résultats que l'on a obtenus avec un chara dont le mouvement de la lymphe était rapide : on a fait passer successivement dans la tige la décharge de un, deux, trois, jusqu'à soixante couples;

le courant électrique persistant, le mouvement rotatoire s'est arrêté une minute après, et n'a pas tardé à reprendre ; quand il a été bien rétabli, on a rétrogradé successivement d'un jusqu'au dix-huitième couple ; alors le mouvement s'est arrêté et a repris une minute après.

L'eau de la pile ayant été enlevée, on a chargé celle-ci avec de l'eau renfermant environ $\frac{1}{50}$ de son poids d'une solution saturée de sel marin et renfermant quelques gouttes d'acide sulfurique. Avec la même tige de chara, le mouvement a été arrêté avec un couple, et s'est rétabli quelques instants après.

Nous avons fait beaucoup d'autres expériences qui ont conduit, comme les précédentes, aux conséquences suivantes : 1° l'électricité qui traverse la tige du chara tend à produire, dans les premiers instants, un engourdissement dont l'intensité dépend de la force du courant ; 2° le courant agit en même temps et également sur les mouvements ascendants et descendants ; 3° le sens du courant ne paraît établir aucune différence dans son mode d'action ; 4° si le courant provient d'une pile chargée avec de l'eau, il faut employer un certain nombre de couples pour arrêter le mouvement de la lymphe ; quelques instants après ce mouvement recommence peu à peu sous l'influence du courant et finit par acquérir la vitesse qu'il avait primitivement. En augmentant le nombre des couples, il y a un nouvel arrêt, et ensuite reprise de mouvement : ainsi de suite, jusqu'à ce que le courant ait assez d'intensité pour arrêter le mouvement de rotation pendant quelques heures. En rétrogradant, c'est-à-dire, en diminuant successivement le nombre des couples, on retrouve encore des arrêts et des reprises de mouvement. Le passage de l'électricité ne produit aucune désorganisation, puisqu'un repos plus ou moins long rend à la plante ses facultés naturelles.

En expérimentant avec une pile chargée avec un liquide actif et bon conducteur, on observe des effets semblables, si ce n'est qu'il ne faut employer qu'un petit nombre de couples pour les obtenir. Comparons ces effets avec ceux qui sont produits par la chaleur, puisque le

courant, en traversant la tige du chara, a dû élever sa température. A partir de zéro, la circulation du chara s'accélère à mesure que la température monte; à 18° ou 19°, elle est très-rapide. Elle diminue ensuite jusqu'à 27°, où elle est très-ralentie, puis sa vitesse augmente, et ainsi de suite jusqu'à 45, où tout mouvement cesse pour ne plus reparaître; la plante éprouve alors une désorganisation qui détruit le mouvement rotatoire des globules.

L'électricité produit constamment sur le chara des alternatives semblables, c'est-à-dire, des arrêts et des reprises de mouvement, même quand on emploie des courants de faible intensité, qui ne dégagent que peu de chaleur, comme nous le prouverons incessamment, et qui, en raison de cela, devraient produire une accélération. Mais nous ne l'avons jamais observé dans la circulation, comme peut en produire la chaleur, à moins qu'il n'y ait eu un arrêt préalable. C'est en cela que consiste la différence que nous avons trouvée entre le mode d'action de l'électricité et celui de la chaleur.

Voici maintenant comme on peut interpréter l'action de l'électricité : lorsqu'un courant électrique traverse un corps quelconque, il commence par faire perdre à ses molécules leur position naturelle d'équilibre, d'où résulte ordinairement un dégagement de chaleur, et, dans quelques cas particuliers, un abaissement de température. Si l'intensité de ce courant est suffisante, les molécules sont séparées, et même décomposées; si elle est trop faible pour produire ces derniers effets, les molécules reprennent peu à peu leur position primitive aussitôt que l'action du courant a cessé. C'est alors que les propriétés physiques du corps redeviennent ce qu'elles étaient avant que le courant l'eût traversé. Mais ce qu'il y a de particulier dans le chara, et que nous signalons à l'attention des physiologistes, c'est qu'après que le courant a produit les effets physiques ci-dessus mentionnés, lesquels sont accompagnés d'une action engourdissante, les forces qui produisent la circulation, et dont la nature est incon-

nue, font un effort pour lutter avec assez d'avantage contre la force électrique, afin que les molécules organiques, quoique dérangées de leur position naturelle d'équilibre, recouvrent leurs propriétés primitives. L'action qui détermine le mouvement rotatoire l'emportant sur l'action du courant, celui-ci continue à agir sans troubler ce mouvement. Cette lutte cesse quand le courant possède une intensité suffisante; les forces vitales, après avoir fait des efforts qui les épuisent momentanément, reprennent leurs facultés après un certain temps de repos, une fois qu'elles ne sont plus soumises à l'action de l'électricité.

Si l'on compare les effets que nous venons de décrire avec ceux qui sont produits par la chaleur, nous trouvons des différences notables, qui nous mettent à même de conclure que le courant électrique agit ici d'une manière particulière.

Ce qui se passe dans le chara a lieu probablement aussi dans tous les corps organisés où l'on observe des liquides en mouvement sous l'empire de la vitalité, attendu que cette puissance, qui est encore, pour nous, couverte d'un voile épais, est soumise dans tous les corps vivants aux mêmes lois.

Dans les recherches dont je viens de rendre compte, j'ai suivi une marche philosophique pour arriver à la connaissance de la force qui produit la circulation de la séve dans les plantes; j'ai mis cette force en présence d'autres forces dont les effets étaient bien définis, afin de connaître les rapports qui existent entre elles. De la comparaison des effets observés, nous avons conclu que les causes qui produisent le mouvement rotatoire ne peuvent être rapportées, suivant toutes les apparences, à l'électricité qui réagit ici d'une manière particulière, dont nous n'avons pas encore eu d'exemple dans l'étude que nous avons faite de toutes ses propriétés.

§ II. *Influence de l'électricité sur le mouvement des villosités qui couvrent la surface libre de certaines membranes muqueuses.*

1661. J'ai cherché également si les courants électriques n'étaient pas aptes à réagir sur le mouvement des villosités qui couvrent la surface libre des membranes muqueuses de la grenouille. On y a vu des effets analogues à ceux que je viens de faire connaître dans le chara; pour cela, on a mis sur le porte-objet du microscope un fragment de la membrane muqueuse du manteau d'une huître. Après avoir constaté que le mouvement fibrillaire était bien établi, on y a fait passer, à l'aide de deux aiguilles en platine, un courant électrique provenant d'une pile composée de trois couples, chargée seulement avec une dissolution légère de sel marin. Le mouvement ne tarda pas à s'arrêter; mais en interrompant le circuit, il recommença; on ne parvint à le détruire entièrement qu'en employant douze ou quinze couples. L'effet était le même quel que fût le sens du courant. Il est probable que l'action mécanique produite dans cette circonstance par le courant agit avec assez de force pour détruire l'équilibre des parties organiques et anéantir le reste de vitalité qui subsiste encore quelque temps après la mort de l'animal.

LIVRE XIX.

DE LA PHOSPHORESCENCE.

CHAPITRE PREMIER.

PHOSPHORESCENCE PRODUITE PAR LES MOYENS MÉCANIQUES.

1662. La phosphorescence a déjà été traitée dans cet ouvrage avec de grands développements, en raison de son origine, qui me paraît électrique. J'ai présenté au lecteur tous les faits qui me semblaient de nature à lui faire partager ma conviction à cet égard. Cette question me paraissant d'une certaine importance pour l'intelligence d'un grand nombre de phénomènes, j'ai multiplié depuis les expériences, et j'ai cherché dans les auteurs anciens des observations qui me permissent de compléter ce que j'avais déjà dit sur la propriété que possèdent la plupart des corps de devenir lumineux par l'action de la percussion, du frottement, de la chaleur, de la lumière, des affinités et de l'électricité.

1663. Les premiers physiciens qui s'occupèrent de la phosphorescence confondirent les effets lumineux dus au dégagement de l'électricité, avec les effets lumineux provenant de la phosphorescence. Il y eut de grandes discussions à ce sujet; mais c'est à Dufay que l'on doit

d'avoir distingué les deux lumières l'une de l'autre, en faisant voir qu'il existe des corps qui deviennent très-électriques par frottement et ne sont point lumineux, tandis que d'autres sont phosphorescents sans être électriques. Ces recherches ont particulièrement été faites sur les diamants, dont la phosphorescence excitait les recherches de tous les physiciens de l'époque.

Les métaux sont dépourvus de phosphorescence par le frottement, ainsi que plusieurs de leurs composés, à l'exception du protochlorure, du deutochlorure et des phosphates de mercure, et peut-être de quelques autres: à peu d'exceptions près, presque tous les corps mauvais conducteurs deviennent phosphorescents par les actions mécaniques ou la chaleur, quand ces actions ont une intensité suffisante.

Hauskbée, ayant imprimé un mouvement rapide de rotation à un globe de métal, et ayant appliqué dessus aussi exactement que possible un corps quelconque, n'a jamais pu apercevoir la moindre apparence lumineuse, quoique le frottement fût très-considérable. Il devait y avoir alors un dégagement d'électricité considérable; mais comme la recomposition suivait immédiatement le dégagement, les deux électricités ne pouvaient pas acquérir une tension suffisante pour produire des phénomènes lumineux.

On sait que dans l'air le choc du briquet sur la pierre à fusil donne des étincelles qui sont dues à la combustion des parcelles d'acier détachées et échauffées par l'action du frottement. Cet effet n'a pas lieu dans le vide; mais en expérimentant dans l'obscurité, on aperçoit, d'après Hauskbée, sur le tranchant du caillou frotté par l'acier, une traînée de lumière pâle et faible qui a tous les caractères de la lueur phosphorique.

Le même physicien, ayant frotté rapidement dans le vide deux morceaux de lisière de laine l'un contre l'autre, obtint une lumière très-faible qui disparut en faisant rentrer l'air.

1664. Continuons à prendre deux substances semblables et de même nature pour voir les effets qu'elles pro-

duisent dans leur frottement mutuel. Le frottement rapide d'un globe de verre sur des tubes de verre dans le vide, dégage une lumière si intense que l'on peut distinguer les objets qui se trouvent dans l'appareil. La couleur de la lumière ressemble à celle d'un verre rougi au feu. L'effet est encore le même quand on exerce le frottement dans l'air ou dans l'eau. Avec l'eau, la lumière est assez vive pour l'éclairer entièrement; les parties du tube où se fait le frottement ont une couleur sensiblement rouge. Ce phénomène cependant n'a que peu de durée, attendu que l'eau, devenant épaisse et se troublant par la poussière du verre produite par le frottement, finit par intercepter le passage de la lumière.

Si l'on frotte rapidement, dans le vide, du verre entre deux écailles d'huître, plates, bien sèches, il se produit une lumière rouge foncé, comme celle d'un charbon allumé, que l'on retrouve encore quelquefois dans les coquilles d'huître calcinées qui ont été exposées pendant quelques instants à la lumière solaire ou diffuse.

1665. Je vais m'arrêter quelques instants sur la dolomie, dans laquelle la propriété phosphorique par frottement est bien développée : cette propriété tient moins à sa dureté qu'à sa texture; car il y a des dolomies très-dures qui en sont privées, tandis que d'autres qui le sont moins la possèdent à un degré très-fort; d'un autre côté, l'analyse chimique ne démontre aucune différence dans la composition de ces diverses variétés; il faut donc que la différence dans les effets provienne de l'état moléculaire. Ce fait est d'accord avec le principe établi précédemment, sâvoir, que plus les parties sont flexibles, plus elles peuvent vibrer facilement, plus aussi elles dégagent alors d'électricité, et plus les phénomènes lumineux doivent être marqués.

1666. Cette même différence se trouve dans les expériences suivantes de M. de Saussure. Des morceaux de marbre blanc ou coloré, à grains serrés, recouverts d'un enduit d'acide phosphorique, et desséchés dans un creuset à une douce chaleur, n'ont donné aucun signe de

phosphorescence par frottement, tandis que la craie ordinaire, traitée au même feu, avec le même acide, lançait de grands traits de lumière lorsqu'on la frottait avec une plume.

En enlevant la mince couche vitreuse qui s'était formée à sa surface, la craie conservait la propriété phosphorique.

Je répète encore que la lumière qui est dégagée dans le frottement, toutes choses égales d'ailleurs, paraît d'autant plus abondante que les corps sont plus recouverts d'aspérités. Cette condition est précisément celle qui facilite le dégagement de l'électricité; raison de plus pour établir l'identité entre la lumière électrique et la lumière de la phosphorescence. La craie ayant un tissu lâche, le phosphate calcaire qui se forme trouve la place nécessaire pour cristalliser de manière à présenter beaucoup d'aspérités, tandis qu'il ne peut en être ainsi dans le marbre dont le grain est très-serré. D'un autre côté, si l'on combine du gypse avec de l'acide phosphorique à un très-grand feu de fusion, on obtient un sel d'un blanc verdâtre, formé de lames prismatiques souvent striées, superposées les unes sur les autres, et coupées carrément à leurs extrémités; ce composé est très-phosphorescent par le frottement avec la plume. Cet exemple rentre encore dans le principe que je cherche depuis longtemps à faire prévaloir.

Le spath-fluor, dont la surface est grenue, est également phosphorique par frottement; tandis que lorsqu'il est en masse, il l'est à peine. Le premier perd cette faculté par la chaleur.

1667. D'un autre côté, il existe des phénomènes de phosphorescence dont l'origine électrique ne saurait être douteuse : nous prendrons pour sujet des expériences le diamant :

En frottant les diamants sur une étoffe de laine, ils paraissent entourés d'une lueur qui les suit dans leurs mouvements, et cesse un moment après. D'autres ne sont pas lumineux; mais si, après les avoir frottés, l'on

glisse le doigt ou l'ongle sur la surface, on voit sortir de petites étincelles brillantes. Il y en a qui, frottés sur la laine et la soie, s'imprègnent d'une lumière qu'ils conservent quelques minutes.

Boyle a trouvé qu'en appliquant un diamant qui était très-phosphorescent par frottement, sur un fer chaud, ou qu'en le pressant sur la main, il émettait une très-faible lumière. Il a observé également qu'on pouvait exciter la lumière dans un diamant en le pressant fortement sur un morceau de faïence.

Dufay a reconnu qu'il y a des différences très-sensibles dans les effets lumineux produits par frottement dans les diamants : ceux de couleur méritent une attention particulière. De tous les diamants jaunes qu'il a essayés, il n'en a trouvé qu'un qui fût médiocrement électrique : tous ont été très-lumineux. Un très-beau diamant fleur-de-pêcher émettait une forte lumière dès le premier frottement; mais il était moins électrique que les jaunes. Un diamant vert ne devint que difficilement lumineux, quoiqu'il fût plus électrique. Un diamant bleu d'une assez grande étendue, mais rempli de points et de glaces, n'a point donné de lumière sensible après le frottement; il en sortait seulement quelques étincelles, lorsqu'après l'avoir frotté, on en approchait le doigt : le phénomène était évidemment électrique. Un diamant couleur d'améthyste produisait les mêmes effets. Dufay conclut de là que la faculté d'émettre la lumière n'est pas tellement dépendante de la vertu électrique, qu'il n'y ait des corps de même nature et de même espèce, dont les uns sont plus lumineux et moins électriques, et les autres, au contraire, plus électriques et moins lumineux. On peut citer encore comme preuve remarquable de cette différence, le fait suivant : si on frotte un diamant capable de devenir électrique et lumineux, et qu'après l'avoir frotté, on le mouille, la vertu électrique se trouve anéantie sur-le-champ, tandis que la lumière subsiste aussi longtemps que s'il n'avait point été mouillé.

Quoique nous attribuions une origine électrique à la

phosphorescence, il y a cependant une différence essentielle entre les corps électriques dans l'ancienne acception du mot et les corps phosphorescents : les premiers, quand ils sont électrisés, jouissent de la propriété de fournir de l'électricité aux corps environnants, tandis que les autres conservent eux-mêmes cette électricité par suite de la recomposition des deux principes mis momentanément en liberté, à l'instant du trouble survenu dans l'état d'équilibre des particules matérielles ; dès lors les causes qui s'opposent au dégagement de l'électricité, ou du moins à sa manifestation à l'état libre, se lient intimement à celles qui produisent la phosphorescence.

CHAPITRE II.

DE LA PHOSPHORESCENCE PAR LA CHALEUR.

§ Ier. *Résultats obtenus par Placidus Heinrich.*

1668. Parmi les physiciens qui se sont occupés avec le plus de succès de la phosphorescence en général, je dois citer Placidus Heinrich, qui a fait un ouvrage spécial sur ce sujet. Voici les conséquences que l'on tire de ses nombreuses expériences touchant les effets lumineux produits par la chaleur. Dans la crainte de donner trop d'étendue à ce livre, je vais exposer ces conséquences avec le plus de concision qu'il me sera possible.

Toutes les pierres calcaires luisent dans l'obscurité, sans exception.

Les spath-fluors tiennent le premier rang; ils exigent une température moins élevée, et se maintiennent luisants plus longtemps que les autres, à la même température.

Le marbre blanc du Tyrol, le calcaire cristallisé, donnent une lumière presque aussi belle que les précédents.

Les sulfates calcaires sont moins phosphorescents.

Les pierres siliceuses, comme le silex, ne ressemblent pas, à beaucoup près, aux substances à base de chaux.

La température du cuivre chauffé au rouge rend ces substances luisantes lorsqu'elles sont réduites en poudre; il faut une chaleur plus élevée pour des morceaux d'une certaine grosseur, comme je l'ai déjà dit.

Les pierres qui brillent, après le diamant, sont la

topaze de Saxe, l'améthyste et quelques jaspes, l'émeraude, l'hyacinthe, etc.

La chaux, qui jouit de la propriété d'émettre une grande quantité de rayons lumineux à une certaine température, conserve donc cette propriété dans ses combinaisons.

Les verres colorés par des oxides métalliques luisent mieux que les verres blancs; les cailloux et le sable de rivière mieux encore que le verre coloré.

Toutes les pierres calcaires brillent; plusieurs avec éclat, si on les broie en parties fines.

Les pierres argileuses tiennent, en général, la dernière place.

Dans les sels on remarque, outre la lumière permanente, une autre lumière d'étincelles qui a peu de durée.

Les sels qui fondent dans leur eau de cristallisation en s'échauffant, ne luisent point; le sel marin perd son pouvoir phosphorescent si on le fait rougir préalablement.

La lumière d'étincelles se produit avec les métaux réduits en grains ou en limailles qu'on répand sur le cuivre chaud. Les oxides métalliques humides présentent également cet effet. Dans ces derniers on remarque une lumière d'étincelles, une lumière tranquille et une lumière faible.

Les composés métalliques qui produisent une lueur de plusieurs secondes, sont les minerais de cuivre, la malachite, le sulfate de cuivre, les minerais de fer, l'oxide de zinc, les minerais d'antimoine, de cobalt, de manganèse et autres.

1669. Dans les corps combustibles on observe la triple lumière d'une manière encore plus frappante que dans les métaux. On remarque particulièrement la lueur d'étincelles dans les minerais combustibles, rarement parmi les végétaux, et plus rarement encore parmi les animaux. Avant que le soufre ne s'enflamme, on aperçoit également une lueur fugitive, que l'on considère comme un phénomène de phosphorescence.

Les huiles chauffées jusqu'à l'ébullition cessent d'être

lumineuses aux températures suivantes : l'huile de térébenthine, à 60° R ; l'huile de pétrole, à 75° ; l'huile de lin, à 85° ; l'huile de noix et de pavot, à 90° ; l'huile de menthe, à 155° ; l'huile d'olive, à 180° ; l'huile d'amande, à 200°, etc.

On n'observe aucune lueur en distillant ces huiles.

1670. Des expériences ont été faites dans le but de déterminer la température à laquelle se produit la phosphorescence dans un certain nombre de corps.

La lumière du spath-fluor disparaît sous l'eau à 80°, 70°, 60°, 50°, selon les échantillons.

Dans le diamant la température où naît la phosphorescence varie de 90 à 60°. On a vu des diamants devenir lumineux à la température de la main ; mais ils devaient être exposés préalablement à l'action solaire ou à celle de la flamme d'une bougie.

La chaux phosphatée de l'Estramadure se soutient jusqu'à 80° R et au delà.

Dans les terres calcaires, à base d'acide carbonique particulièrement, dans les marbres, la température moyenne à laquelle disparaît la phosphorescence est d'environ 200°.

Le quartz rose de Bavière se maintient jusqu'à 195° ; le feldspath jusqu'à 220°.

Les terres argileuses luisent très-faiblement sur le mercure jusqu'à 275°.

Quant aux substances animales, la température où elles deviennent lumineuses ne va pas au delà de 200°.

1671. Passons maintenant aux effets de couleurs observées dans la phosphorescence.

Dans les carbonates calcaires les couleurs jaune et bleue se montrent quelquefois ; le vert rarement.

Dans les combinaisons d'acide fluorique, le jaune, le bleu, le vert, et le plus souvent ces deux couleurs.

Dans les combinaisons d'acide fluorique, l'acide phosphorique, généralement, le vert et le jaune.

Dans les combinaisons d'acide sulfurique, le jaune et le bleu.

Dans celles d'acide arsénique, le verdâtre et le bleu.

Avec les silex, le bleu, le jaune et le vert.

Avec les substances argileuses, le jaune et le blanc, etc.

Quand la température diminue, les couleurs se succèdent dans l'ordre suivant : jaunâtre, blanchâtre ou vert foncé, vert émeraude, vert pâle, blanchâtre, violet, bleu foncé, bleu clair, blanc faible ou bleu, vert, jaune clair, blanchâtre.

En général, on a remarqué plus fréquemment dans les phénomènes de phosphorescence la couleur bleue que la verte.

Le spath-fluor chauffé par degrés luit au commencement d'une couleur blanchâtre, puis jaunâtre, puis verte, bleuâtre et violette. La dernière couleur est très-belle et se soutient. Quand les morceaux sont assez gros, le violet ne paraît pas, et la couleur reste au vert clair. La poudre du spath atteint le blanc resplendissant. Le feldspath produit dans les mêmes circonstances une lumière faible, puis jaune, verte, bleue, puis un luisant brillant.

Je reviens aux combustibles dont les effets lumineux nous intéressent, en raison du rapprochement que l'on peut faire de la lumière produite dans la combustion avec la lueur phosphorique.

Les combustibles proprement dits, placés sur une plaque de cuivre chauffée, commencent toujours à brûler avant de luire, et cette lumière devient si faible qu'elle est purement phosphorescente, d'autant plus qu'elle se montre dans les gaz qui ne renferment pas d'oxigène.

L'antimoine, le graphite, l'ambre, les os, les coquilles d'huître, le maïs, continuent à luire, même dans l'acide carbonique, pendant qu'un morceau de bois allumé s'y éteint.

L'huile d'olive placée dans des tubes chauffés à un degré tel qu'elle continue à brûler sans mèche, à peine plongée dans l'acide carbonique, s'éteint, et l'on voit une faible lueur continuer. Les métaux se comportent de même.

1672. Il est souvent difficile de déterminer les limites

entre la phosphorescence et l'incandescence; aussi passe-t-on souvent de l'une à l'autre par des nuances insensibles.

De tous ces faits, qui sont très-nombreux, nous ne pouvons en tirer encore aucune conséquence; nous devons donc les considérer seulement comme des vérités que nous enregistrons, en attendant qu'on puisse les enchaîner par une loi.

§ II. *Expériences de M. Th. de Saussure sur la phosphorescence de quelques composés à base de chaux par la chaleur.*

1673. M. Th. de Saussure a fait quelques expériences dans le but de montrer l'influence qu'exercent sur la phosphorescence des pierres calcaires l'acide étranger qui s'y trouve uni, et diverses bases inorganiques.

Toutes les pierres calcaires douées de la phosphorescence, et qui ont été soumises à l'expérience par ce chimiste distingué, donnent, lorsqu'elles ont été traitées convenablement avec de l'eau distillée, des signes de la présence des acides sulfurique et hydrochlorique.

Comme ce dernier acide paraît être la cause de la phosphorescence d'un très-grand nombre de pierres calcaires, M. T. de Saussure l'a choisi pour but de ses recherches. Suivant lui, les combinaisons de la chaux avec l'acide hydrochlorique ne donnent jamais de lumière sur un fer rouge, lorsque les deux substances sont parfaitement pures. Il en est de même du carbonate de chaux, que l'on obtient à la surface de l'eau de chaux, ou de certains spaths d'Islande parfaitement blancs et transparents.

Cet habile chimiste a fait dissoudre jusqu'à saturation une certaine quantité de calcaire dans de l'acide hydrochlorique pur. Cette dissolution filtrée a laissé par l'évaporation, dans une capsule de verre, un résidu blanc et friable qui n'était point phosphorescent, non plus que le résidu de la dissolution hydrochlorique faite avec un

morceau de calcaire pur. Le résidu, chauffé au rouge jusqu'à la fusion, n'a donné aucune lumière. Dans les mêmes circonstances, le carbonate projeté dans le premier résidu, lorsqu'il était en fusion, a produit une vive effervescence, sans phosphorescence aucune; mais si le carbonate était chargé de fer non peroxidé, on apercevait à la surface du mélange une très-belle phosphorescence, quoique la terre ajoutée ne possédât pas cette propriété. En retirant la substance du creuset avant que la combinaison ne fût achevée, et la posant, après le refroidissement, sur un fer rouge, elle devenait très-phosphorescente.

Enfin, si, dans des chlorures de calcium en fusion, l'on projetait de la limaille de fer, le chlore en s'unissant au métal produisait une lumière phosphorique d'un blanc bleuâtre qui s'élevait à plusieurs centimètres au-dessus du mélange. Cette lumière rendait translucide le creuset lui-même. Il se dégageait du mélange des bulles qui, en éclatant à l'air, laissaient échapper une lumière blanchâtre éblouissante.

Ces dernières expériences, qui sont très-remarquables, nous montrent l'influence des oxides métalliques sur les phénomènes de phosphorescence, influence sur laquelle j'ai beaucoup appuyé dans le 4e volume.

Le peroxide de manganèse dégage du chlorure de calcium en fusion une fumée blanche qui colore en rouge la flamme des charbons. La lumière produite est toujours en raison inverse de l'oxigénation du métal.

M. de Saussure, en étudiant la phosphorescence du spath-fluor, a reconnu, comme on le savait du reste avant lui, et comme je l'ai déjà dit, que les cristaux qui sont parfaitement blancs ou transparents n'ont point cette propriété.

Suivant lui, les spath-fluors sont d'autant plus phosphoriques qu'ils contiennent plus de fer comme principe colorant, ou suivant que le fer y est à l'état de protoxide.

Le spath-fluor en perdant sa couleur perd aussi, comme on sait, sa propriété phosphorescente; cet effet

paraît provenir, suivant M. de Saussure, d'une oxidation plus complète du fer. Mais cette explication ne saurait être admise, puisque l'action de la lumière électrique, qui ne peut ramener le fer à un état d'oxidation moindre, rend au spath-fluor sa propriété phosphorescente quand il l'a perdue.

Tant que dure le phénomène, suivant M. de Saussure, il se produit une décrépitation extraordinaire, qui ne paraît pas dépendre uniquement de l'eau de cristallisation et de l'inégale dilatation des surfaces ; car à chaleur égale ce pétillement est d'autant plus grand que la phosphorescence est plus vive, et il cesse avec elle; or, puisqu'en soumettant à la calcination, dans un creuset bien fermé, du spath-fluor vert, à demi transparent, cette substance perd un tiers de son poids et sa propriété phosphorescente, il faut donc qu'il se fasse un changement dans sa composition, et par suite dans sa constitution. Voyons quelle est la nature de ce changement. Si l'on fait bouillir, pendant plusieurs heures, de l'eau distillée sur du spath-fluor non calciné, la liqueur filtrée et concentrée n'accuse, avec les réactifs, ni la présence du fer, ni celle de l'acide hydrochlorique. Le résidu de l'évaporation est du spath-fluor non décomposé.

En répétant la même opération sur une pareille quantité de spath-fluor calciné jusqu'à la fusion dans un creuset de platine, on trouve que la dissolution concentrée colore en bleu le deuto-cyanate de potasse, tandis que la dissolution d'argent y forme un précipité. Le résidu de la liqueur évaporée à siccité est déliquescent, brunit à l'air, et paraît être composé, en grande partie, de chlorure de calcium très-chargé de fer; ce sel semblerait indiquer les changements qui s'opèrent dans le spath-fluor par l'action du feu. Je rappellerai, à cette occasion, que Scheele avait déjà reconnu l'existence du sel marin dans cette substance. Au surplus, quelle que soit la cause du phénomène, tous ces faits mettent en évidence le principe que j'ai établi, d'après de nombreuses expériences, savoir, qu'il y a phosphorescence dans les corps inorga-

niques toutes les fois que leurs molécules éprouvent des changements dans leur composition chimique ou dans leur mode d'agrégation, phénomènes qui sont accompagnés d'un dégagement des deux électricités dans les espaces moléculaires, et de leur recomposition immédiate avec production de lumière.

§ III. *De la phosphorescence de la chlorophane par la chaleur et la lumière, et de la théorie de la phosphorescence de Grothuss.*

1674. On doit à Grothuss (1) un grand nombre d'expériences sur la phosphorescence de la chlorophane, dont je vais faire connaître les principaux résultats. La variété de spath-fluor connue sous le nom de chlorophane, et vue par réflexion ou par réfraction, présente la même couleur. En outre, elle ne décrépite pas sur la pelle rouge comme les fluors ordinaires. Comme eux, cependant, elle se décolore et répand en outre une lueur d'une couleur vert émeraude très-belle.

En se refroidissant, elle revient peu à peu à son état primitif; chauffée et portée dans l'obscurité, elle émet de nouveau la couleur vert émeraude, qui semble sortir de son intérieur; mais cet effet ne se produit pas indéfiniment, car si on la soumet pendant longtemps à l'action de la chaleur, elle devient limpide, et ne reprend plus sa couleur en refroidissant. Dans ce cas, la phosphorescence disparaît sans retour.

La chlorophane qui reste pendant longtemps, un mois par exemple, dans l'obscurité, devient phosphorescente par la chaleur seule de la main.

Si, après l'avoir exposée pendant quelques minutes à la lumière solaire, ou à celle d'une bougie, on la porte dans l'obscurité, elle est lumineuse et conserve cette faculté pendant plusieurs semaines; quand elle a cessé d'être lumineuse, on la ranime en élevant la tempéra-

(1) Journal de Schweiger, tom. XIV, p. 134.

ture de 35 à 40°, soit à l'air libre, soit en la plongeant dans de l'eau convenablement échauffée.

Grothuss a reconnu que la phosphorescence de la chlorophane dure incomparablement plus longtemps que celle du phosphore de Canton le mieux préparé.

Il est difficile d'établir une comparaison entre ces deux pyrophores, attendu qu'il existe des chlorophanes et des phosphores de Canton qui brillent à des degrés très-différents. Grothuss ne peut citer là qu'un fait particulier, qui ne peut conduire à aucune conséquence.

On voit, par une des expériences précédentes, comme je l'avais déjà démontré, que la lumière des substances phosphorescentes, alors même qu'elle n'est plus sensible à l'œil, peut continuer à s'échapper inaperçue, et que l'on arrive à une période où il faut une température plus élevée que celle de la main pour la ranimer.

1675. Voici de quelle manière Grothuss a reconnu que l'abaissement de température est favorable à la production de la phosphorescence. Ayant exposé quelques morceaux de chlorophane à une température de 25° à l'air libre, il les porta ensuite dans une chambre obscure, dont la température était de 6 à 8°; tous les morceaux répandirent aussitôt une lumière verte très-remarquable; au bout de deux heures, cet éclat n'était pas encore complétement disparu.

D'autres morceaux, également bien choisis, furent soumis à une température de 25 à 30°, puis portés dans l'obscurité, à la température de 10°. La phosphorescence fut beaucoup plus faible que dans le premier cas, et cessa également plus tôt.

D'autres substances phosphorescentes ayant produit les mêmes effets, il en conclut que le froid augmente le pouvoir phosphorescent, tandis que la chaleur, au contraire, exalte leur pouvoir émissif et diminue leur pouvoir absorbant.

1676. Voici, au surplus, sa manière de voir sur la production de la phosphorescence. La lumière solaire en tombant sur la surface des corps, et se trouvant pla-

cée dans la sphère d'activité des pôles des molécules, est décomposée en ses deux éléments, l'électricité positive et l'électricité négative. La réunion subséquente et continue de ces deux électricités séparées est la cause de la phosphorescence. La lumière, suivant lui, serait donc, comme le pensent la plupart des électro-chimistes, formée de la réunion des deux électricités.

Au moyen de cette hypothèse, il explique pourquoi un métal et un liquide conducteur ne peuvent devenir phosphorescents. La chaleur, dit-il, en se répandant dans un corps, écarte ses particules et rend, par là, plus faible l'action qu'exercent les pôles des molécules sur la lumière. La décomposition de la lumière en ses deux principes constituants, les deux électricités, et leur recomposition, seront par cela même incomparablement plus faibles ; de sorte que la phosphorescence perdra beaucoup de son intensité et de sa durée. Je dois ajouter, pour l'intelligence de ce que je viens de dire, que Grothuss considère la chaleur et la lumière comme deux principes essentiellement distincts.

Cette théorie peut servir, à la vérité, à interpréter pourquoi un corps lumineux par insolation perd une partie de cette faculté par l'élévation de température, mais elle nous laisse tout à fait ignorer pour quelle raison la chaleur, indépendamment de la lumière, produit de la phosphorescence; il faut nécessairement admettre, comme je l'ai fait, que la phosphorescence est due à la recomposition des deux électricités devenues libres par la dilatation des molécules. Sans se prononcer sur la nature de la chaleur et de la lumière, et sur leurs rapports réciproques, comme Grothuss, on peut attribuer une origine électrique aux phénomènes de phosphorescence, en s'appuyant, comme moi, sur des bases incontestables, c'est-à-dire, sur l'existence de l'électricité qui est associée aux atomes dans leur combinaison ainsi qu'aux particules qui en résultent. Dès l'instant que ces atomes ou ces particules deviennent libres, il y a dégagement des deux électricités, qui peu-

vent produire de la lumière, si leur tension est suffisante.

Quoi qu'il en soit, la théorie de Grothuss est ingénieuse, et elle renferme le germe de la véritable explication des faits. Le même physicien s'étant occupé aussi de l'influence qu'exerce l'eau hygrométrique sur la phosphorescence, a été conduit aux conséquences suivantes. La phosphorescence est proportionnelle à la siccité des corps et en raison inverse de leur humidité. Par exemple, le papier desséché à une haute température, comme Beccari l'a prouvé, devient très-phosphorescent, tandis que la phosphorescence disparaît en humectant le papier à l'aide d'un pinceau. Dans ce cas, l'effet étant électrique ne peut être cité en faveur de l'opinion de Grothuss. Il avoue cependant que, dans certains cas, la présence de l'eau détermine ou excite la phosphorescence, parce qu'en augmentant probablement son pouvoir conducteur, elle facilite la réunion des deux électricités séparées : nous sommes parfaitement de son avis en cela. On observe particulièrement un effet de ce genre dans le phosphore de Canton et dans les bases terreuses, comme je l'ai dit précédemment. Il peut se faire aussi que l'eau, dans cette circonstance, réagisse chimiquement.

Dès lors, suivant Grothuss, puisque tous les corps, à l'exception des métaux et des liquides, possèdent la propriété d'absorber la lumière et de maintenir séparées, pendant un temps plus ou moins long, les deux électricités dont elle se compose, il est naturel d'attribuer la phosphorescence produite par le choc ou la chaleur au-dessous de la température rouge, à la lumière primitivement absorbée par ces corps.

Grothuss combat l'opinion de Dessaignes, qui a avancé que la présence de l'eau de cristallisation était nécessaire à la phosphorescence. Tout me porte à croire que si certaines substances soumises à une température très-élevée cessent d'être phosphorescentes, cet effet doit provenir de ce que leur état moléculaire est changé, et non de ce qu'elles perdent leur eau de cristallisation, puisqu'on leur

rend la faculté phosphorique à l'aide de l'électricité, qui ne peut leur restituer l'eau de cristallisation qu'elles ont perdue.

Il pense que la lumière qu'émettent les corps, lorsque leur température est très-élevée, est due moins à l'accumulation de la chaleur, qu'à la séparation et à la réunion successive des électricités que dégagent les molécules lors de la rupture de leur équilibre par l'effet de l'élévation de température.

1677. Toujours préoccupé de l'idée que les corps absorbent de la lumière, ce physicien pensait qu'il pourrait bien se faire que les corps devenus lumineux par l'élévation de température, absorbassent, au moment du refroidissement, une partie de la lumière émise; ce qui expliquerait pourquoi, dans le choc ou le frottement, le maximum de phosphorescence aurait lieu à la température rouge.

Dans tous les cas, suivant lui, le choc ou le frottement ne paraît déterminer la phosphorescence qu'en élevant la température, qui, à son tour, favorise la réunion des deux électricités. Il cite en faveur de son opinion, ce fait, que le choc et le frottement ne déterminent pas la phosphorescence quand on opère sur certains corps à une température très-basse, par exemple, à 20° au-dessous de zéro.

Certes, cette expérience est intéressante, mais nullement concluante; car il existe des corps, comme le cristal de roche, qui sont éminemment phosphorescents par le frottement mutuel de deux morceaux semblables, même à une température au-dessous de zéro, et qui ne produisent aucun effet, ou des effets peu marqués, quand on exerce le frottement avec un autre corps. En outre, le cristal de roche n'est pas phosphorescent par élévation de température, si l'on compare les effets produits à ceux que l'on obtient dans le frottement.

Grothuss fait observer avec raison que la lumière phosphorique dégagée par le choc ou le frottement, ressemble beaucoup plus à la lumière électrique qu'à la

lumière des corps en combustion. Il doit en être effectivement ainsi, puisque les actions mécaniques provoquent une émission d'électricité entre les molécules.

1678. La question, comme on le voit, se réduit à ceci : Les substances phosphorescentes par insolation absorbent-elles réellement la lumière, ou bien la lumière, en les frappant une première fois, met-elle seulement en mouvement le fluide lumineux que ces substances contenaient déjà, ou plutôt le principe électrique qui est inhérent aux molécules des corps?

Grothuss résout cette question affirmativement en faveur de la première supposition, puisqu'il considère la phosphorescence par insolation comme due à l'absorption réelle et matérielle de la lumière. Si l'on prend, dit-il, du phosphore de Canton, et qu'après l'avoir exposé à la lumière on le jette sur une pelle de fer chauffée au-dessous de la température rouge, le phosphore brille pendant quelques minutes d'un éclat extraordinaire. Cette lumière émise s'échappe seulement du côté opposé à la lumière et disparaît bientôt totalement. Il cite encore, en faveur de son opinion, le fait suivant : lorsque le phosphore est récemment préparé et encore très-chaud, si l'on le place dans un vase bien clos, à l'abri du contact de toute lumière, et qu'après l'avoir ainsi laissé refroidir, on le projette sur la pelle chaude, il n'émet aucune lumière, et on ne peut le rendre phosphorescent qu'autant qu'on l'expose de nouveau à la lumière. Sans adopter l'opinion de Grothuss, je ne puis m'empêcher de reconnaître que le phénomène se passe comme s'il y avait eu absorption de lumière; mais on peut dire aussi, suivant ma manière de voir, que la lumière troublant l'équilibre des forces électriques, les prédispose à réagir comme lumière, quand on emploie la chaleur.

1679. Il a observé qu'une substance phosphorescente n'émet jamais une lumière de même couleur que celle qu'on lui a fait absorber, à moins que la lumière absorbée ne soit de même couleur que celle que la substance émet naturellement, quand elle devient phosphorescente.

Nous verrons plus loin toute la portée de cette expérience.

Je dois dire aussi qu'il a observé que, de tous les rayons lumineux, les rayons violets sont ceux qui excitent le plus la phosphorescence, tandis que les rayons rouges sont ceux qui l'excitent le moins.

La lumière rouge ne produit presque aucun effet; elle peut même arrêter la phosphorescence. Ce physicien, ayant fait tomber le spectre sur une carte très-lisse, et ayant fait porter celle-ci dans un lieu parfaitement obscur où il était renfermé depuis longtemps, la partie de la carte soumise à la portion du spectre qui s'étendait du vert au violet, brillait d'une lumière incolore, tandis que l'autre moitié ne répandait aucun éclat.

Il se procura des morceaux de phosphore de Canton qui répandaient, les uns une lumière rouge, d'autres une lumière bleue, etc. Les ayant soumis au même rayon du spectre solaire, puis reportés dans l'obscurité, ils brillèrent de leur couleur propre. De même, le phosphore, dont la lumière propre était rouge, soumis au rayon bleu pendant qu'il était chaud, émettait de la lumière rouge quand on le transportait dans l'obscurité.

J'ajouterai que Grothuss a avancé que tous les corps, à l'exception des métaux et des liquides, sont phosphorescents, et d'autant plus que leur couleur propre est plus claire. Il y a cependant des exceptions à cette règle; car, en général, les calcaires et les fluors blancs, sont peu ou point phosphorescents.

Il résulte des faits précédents, qu'en expérimentant sur des papiers colorés, la phosphorescence est toujours proportionnelle à l'éclat ou à la clarté de leur couleur; ainsi, plus la couleur des corps est sombre ou noire, moins ces corps sont phosphorescents. L'expérience suivante confirme cette conclusion.

Une gravure, après avoir été exposée à la lumière solaire, fut transportée dans l'obscurité; les parties éclairées ou moins sombres brillèrent alors d'un assez grand éclat, tandis que les parties noires ou sombres ne don-

nèrent aucune lumière; de sorte qu'on obtint par ce moyen une copie lumineuse et parfaitement exacte de la gravure soumise à l'expérience.

Il semble encore résulter des expériences faites sur le carbonate de cuivre bleu, les aigues marines, les spath-fluors, les gypses fibreux, etc., qu'une substance rendue phosphorescente n'émet jamais la couleur sous laquelle elle se montre à nos yeux.

Grothuss a voulu expliquer la faculté que possèdent les rayons violets, d'exciter davantage la phosphorescence que les rayons rouges, en disant que les derniers ont une température plus élevée que les autres. Mais il est facile de prouver, comme on le verra ci-après, que la radiation phosphorogénique est essentiellement distincte de la radiation calorifique.

CHAPITRE III.

DE LA PHOSPHORESCENCE PRODUITE DANS LA CRISTALLISATION.

1680. On sait que dans le clivage des substances cristallisées, il y a production d'effets électriques et d'effets lumineux. L'origine électrique de ces derniers ne saurait être ici mise en doute. Le clivage est une action qui détruit l'attraction moléculaire; il doit donc mettre en liberté les électricités qui président à cette attraction, et par suite produire des effets lumineux. C'est ainsi que la percussion dans le feldspath adulaire et la chaleur appliquée à un grand nombre de corps produisent la phosphorescence, par cela même qu'il s'opère un clivage momentané entre toutes les particules, d'où résulte entre elles, un dégagement d'électricité, et par suite un phénomène de phosphorescence. Les phénomènes de cristallisation produisent des effets analogues.

M. Roze a observé, pendant la formation des cristaux d'acide arsénieux, une émission de lumière qui se rattache aux phénomènes qui nous occupent. Ayant pris 8 ou 10 grammes d'acide arsénieux transparent et vitreux avec 45 grammes d'acide hydro-chlorique non fumant et de force ordinaire, mélangé avec 15 grammes d'eau, il fit bouillir le tout pendant un quart d'heure, et laissa refroidir ce mélange aussi lentement que possible, en diminuant graduellement la flamme de la lampe à al-

cool. Il vit, se trouvant alors dans l'obscurité, que la cristallisation était accompagnée d'une forte émission de lumière; chaque cristal donnait lieu à une étincelle. En agitant le vase, il se forma un grand nombre de cristaux, et la lueur phosphorique augmenta d'autant. En opérant avec 30 à 45 grammes d'acide arsénieux, et agitant le vase à l'instant de la cristallisation, l'émission de lumière était si considérable, que la chambre obscure était illuminée. Ce phénomène dura plusieurs jours, mais en diminuant toujours d'intensité, et ne cessa que lorsqu'il ne se forma plus de cristaux d'acide arsénieux.

Quand le refroidissement de l'acide hydro-chlorique est rapide, on n'obtient qu'une très-faible lueur ou aucune.

1681. Les autres acides, tels que les acides acétique et nitrique, qui ne dissolvent qu'une très-petite quantité d'acide arsénieux, ne présentent les apparences lumineuses qu'à un très-faible degré. L'acide sulfurique ne laisse également apercevoir que de faibles traces de lumière.

En traitant une grande partie d'acide arsénieux transparent avec de l'eau régale ne renfermant pas un excès d'acide hydro-chlorique et en quantité suffisante pour ne pas le dissoudre complétement et le transformer en acide arsénique, on observe encore une forte émission de lumière.

Le sulfate de potasse produit un effet semblable, comme le dit M. Berzélius; mais il paraît que cet effet n'a jamais lieu, quand on fait cristalliser du sulfate de potasse pur : on l'observe seulement dans les résidus de la fabrication de l'acide nitrique. Ces résidus renferment du sesqui-sulfate de potasse soluble dans l'eau, lequel, suivant Philips, se décompose dans l'acte de la cristallisation en bi-sulfate et en sulfate neutre de potasse.

D'un autre côté, on sait que l'acide arsénieux est vitreux ou opaque. Cet acide, après avoir été fondu, est

d'abord parfaitement transparent ; mais quand il a été conservé pendant quelque temps, il devient laiteux et opaque, sans avoir rien perdu de son poids. La pesanteur spécifique des deux acides n'est pas la même. M. Roze a obtenu la phosphorescence avec les cristaux vitreux seulement. Il n'a aperçu qu'une faible lueur avec l'acide opaque, et encore en agitant le vase. Si l'on traite l'acide transparent de manière à faire naître la phosphorescence, on reproduit le phénomène à plusieurs reprises, en faisant chauffer la dissolution jusqu'à l'ébullition et la laissant refroidir lentement; seulement la lumière est plus faible que dans la première expérience.

1682. Le chlorure de calcium jouit aussi de propriétés lumineuses remarquables. Lorsque ce sel est complétement fondu dans son eau de cristallisation, si l'on transporte le creuset dans une chambre obscure, et qu'on le laisse refroidir graduellement, non-seulement la lumière phosphorescente persiste pendant plusieurs minutes, mais on voit distinctement de larges étincelles et des coruscations accompagnées d'un craquement dû probablement à la contraction soudaine de la masse ou à sa cristallisation.

On produit également ce phénomène en plongeant une baguette dans le liquide, dont une grande partie se concrète autour, et qu'on peut ensuite enlever. Quand le creuset est refroidi et que la phosphorescence a disparu, on obtient de très-belles étincelles en frappant le chlorure avec un instrument aigu, ou simplement en le rayant : on obtient encore des étincelles en broyant la substance dans un mortier.

La couleur et l'intensité des étincelles paraissent varier avec le degré de la force mécanique employée : si l'on raye doucement, on a des étincelles vertes; si l'on raye fort, elles sont jaunes; un petit coup frappé avec le marteau donne une étincelle de couleur orange.

On observe plus facilement ces effets avec le chlorure nouvellement fondu, que lorsqu'il a absorbé de

l'eau pendant son exposition à l'air. Dans ce cas, la propriété lumineuse diminue à mesure que la quantité d'eau absorbée augmente.

Tous les faits observés jusqu'ici tendent donc à prouver que le plus petit dérangement dans la position d'équilibre des molécules des corps, est une cause productrice de phosphorescence.

CHAPITRE IV.

DE LA PHOSPHORESCENCE PRODUITE PAR LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

§ Ier. *De quelques propriétés relatives au pouvoir phosphorescent de la lumière électrique.*

1683. La phosphorescence est la propriété qu'acquièrent passagèrement la plupart des corps, de devenir lumineux par l'action de la chaleur, de la lumière directe ou diffuse du soleil, du frottement, du choc, de la compression, des décharges électriques ou des affinités; la durée, la couleur et l'intensité de la lumière émise dépendent de la nature des corps, de l'état de leurs surfaces, et de l'énergie avec laquelle agit la cause productrice. La ressemblance de cette lumière avec celle qui se manifeste dans le dégagement de l'électricité est si frappante, particulièrement sous le rapport des diverses nuances qu'elle présente, que les physiciens du siècle dernier pensèrent qu'elle avait une origine semblable; mais la science n'était pas alors assez avancée pour qu'ils pussent donner une théorie satisfaisante de ce phénomène.

Il est maintenant parfaitement démontré que l'équilibre du principe électrique est troublé dans les corps toutes les fois que leurs parties constituantes éprouvent un changement quelconque, soit dans leur position naturelle d'équilibre, soit dans leur combinaison. Or, ce

sont là précisément les causes qui produisent la phosphorescence; d'un autre côté, la lumière phosphorique a des teintes aussi variées que celles que présente l'étincelle électrique, et dans des circonstances à peu près semblables. Ce double rapprochement m'a servi de point de départ pour établir l'identité entre ces deux lumières.

Je n'ai nullement l'intention d'exposer ici les effets des diverses causes signalées plus haut, puisque je me suis suffisamment étendu à cet égard dans le IVe vol.; je désire seulement montrer comment agit la lumière électrique pour développer cette propriété, et prouver en même temps que cette lumière renferme une radiation particulière différente des autres radiations connues, et qui est la cause immédiate de la phosphorescence.

1684. Jusque dans ces derniers temps, on ne s'est occupé de la phosphorescence que pour rechercher toutes les causes qui peuvent la développer. On sentait cependant depuis longtemps la nécessité de coordonner ensemble les faits observés, afin de les comprendre tous dans une expression générale qui permît de les classer et de montrer en même temps le lien qui les unit. C'est le but que je me suis proposé dans un travail assez étendu que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie il y a quelques années.

En préparant tout récemment le cours de physique appliquée à l'histoire naturelle, dont je suis chargé au Jardin des Plantes, j'ai eu occasion de reprendre cette question en ce qui concerne particulièrement la faculté que possèdent les décharges électriques, de rendre phosphorescentes certaines substances qui sont exposées à leur action.

Je reviendrai encore, avant de rapporter les résultats auxquels je suis parvenu, sur les idées théoriques qui m'ont servi de guide jusqu'ici dans les recherches que j'ai faites sur la phosphorescence.

Il est parfaitement démontré aujourd'hui que le dégagement de l'électricité a lieu dans les corps toutes les

fois que leurs particules éprouvent un dérangement quelconque, soit dans leur constitution, soit dans leur groupement, ou bien lorsqu'elles sont décomposées. Si ces particules ne sont pas séparées, il y a recomposition plus ou moins immédiate des deux fluides dégagés, laquelle peut produire, selon la nature des corps et la tension de l'électricité, de la lumière et de la chaleur. C'est ainsi que, lorsque ces particules sont ébranlées par la percussion, le frottement, la chaleur, la lumière, ou décomposées par l'action chimique ou le choc électrique, il peut y avoir émission de lumière par la recomposition des deux électricités, surtout si les corps auxquels elles appartiennent sont de mauvais conducteurs; mais comme ces causes sont précisément celles qui produisent la phosphorescence, on est en droit d'admettre l'identité entre la lumière électrique et la lumière de la phosphorescence, et d'autant plus que les apparences lumineuses sont sensiblement les mêmes dans les deux cas, et que tous les corps bons conducteurs de l'électricité (ceux dans lesquels les phénomènes électriques produits par des actions mécaniques sont rarement accompagnés d'émission de lumière), sont aussi ceux qui sont dépourvus de phosphorescence.

D'un autre côté, on sait que le spectre solaire est composé de parties qui possèdent, les unes la faculté calorifique, les autres la faculté chimique. La plus forte chaleur se trouve sur le rouge et dans les environs, tandis que les autres teintes possèdent des températures qui vont en décroissant jusqu'au violet. Cette distribution calorifique existe encore dans la série des mêmes rayons colorés obtenus par le passage d'un faisceau de lumière dans des matières colorantes.

M. Seebeck a reconnu en outre que le maximum de température du spectre solaire change de place avec la composition chimique de la substance dont le prisme est formé. Ainsi, en employant un prisme de crown-glass, le plus haut degré de chaleur passe sur l'orangé. Avec un prisme rempli d'acide sulfurique, il est transporté sur le jaune; avec des prismes de flint-glass, le

maximum passe dans l'espace obscur, tout près de la dernière bande rouge du spectre.

M. Melloni a observé en outre que dans le spectre formé avec un prisme de sel gemme, le maximum de chaleur se trouve beaucoup au delà du rouge, que ce maximum même marche du violet au rouge, et même au delà lorsque la matière du prisme étant non cristallisée, est de plus en plus réfringente ou de plus en plus diathermane. Le même physicien est parvenu aussi à enlever à un faisceau de lumière blanc ses propriétés calorifiques, et à montrer que la faculté que possèdent les corps de se laisser traverser par la chaleur rayonnante, n'a aucun rapport avec leur degré de transparence, puisque la chaleur du soufre liquide, d'un rouge brun assez foncé, transmet plus de rayons calorifiques que les huiles de noix, d'olive, qui ont une teinte beaucoup plus claire. Des corps solides très-diaphanes, tels que la chaux sulfatée, l'acide citrique et autres, laissent passer moins de chaleur que d'autres corps colorés ou translucides, tels que l'agate, la tourmaline, le quartz enfumé, etc. Il résulte de là que la faculté de transmettre les rayons de chaleur est, dans ces différents cas, en sens contraire de la faculté de transmettre les rayons de lumière. Quant aux rayons violets du spectre, ils possèdent des propriétés chimiques dont les autres rayons sont plus ou moins privés ; ces propriétés ont beaucoup d'intensité dans les rayons violets et ceux qui les avoisinent, tandis qu'elles paraissent nulles dans les rayons rouges, orangés et jaunes.

1685. Revenons maintenant à la phosphorescence produite par l'action des rayons lumineux, et essayons de montrer que la lumière électrique, en traversant certains diaphragmes, conserve ou perd en partie la faculté de rendre certains corps phosphorescents.

Les rayons solaires, ainsi que la lumière diffuse, possèdent, comme on le sait depuis longtemps, la faculté de rendre phosphorescents dans l'obscurité certains corps qui ont été exposés à leur action pendant quelques ins-

tants. On place en première ligne les coquilles d'huîtres nouvellement calcinées avec ou sans soufre : la lumière émise présente souvent les couleurs du spectre, et quelquefois même avec assez d'éclat. Les décharges électriques exercent une action semblable, mais à un degré peut-être plus marqué encore. Pour faire cette expérience, les coquilles sont placées sur la tablette de l'excitateur universel, à une distance de deux ou trois centimètres des deux boules, entre lesquelles éclate la décharge. D'autres corps éprouvent le même mode d'action, particulièrement la craie sèche, le sucre, etc. On aperçoit alors dans tout le trajet de l'électricité une traînée de lumière dont les teintes plus ou moins vives sont changeantes et de peu de durée. La couleur, l'intensité et la durée des effets varient avec la nature des corps.

La phosphorescence produite dans les corps par la lumière en général a occupé un grand nombre de physiciens, et en particulier Placidus Heinrich de Ratisbonne, qui a publié un grand ouvrage sur les différents moyens d'exciter cette faculté dans un grand nombre de corps. Voici les faits principaux qui s'y trouvent consignés.

La lumière émise par les minéraux, et en général par les productions de la nature, est blanche, soit qu'on les expose à la lumière solaire ou diffuse, transmise par des verres colorés, ou bien aux diverses couleurs du spectre; il en excepte cependant un diamant qui acquérait une phosphorescence durable dans les rayons bleus, tandis qu'il restait tout à fait obscur après l'exposition aux rayons rouges. Le poli nuit singulièrement à la phosphorescence par insolation. Un marbre est beaucoup plus lumineux sur une cassure récente que sur les parties polies; des surfaces luisantes détruisent même souvent complétement la phosphorescence.

Il faut donc en conclure que la radiation qui produit ce phénomène, abstraction faite de toute hypothèse sur sa nature, est détruite ou réfléchie en tombant sur la surface polie.

Le marbre blanc, le spath-fluor, etc., quand ils ont

acquis la phosphorescence, sont comme transparents; la radiation doit donc pénétrer dans l'intérieur, comme du reste on peut s'en assurer en sillonnant leur surface avec un instrument tranchant; quant aux effets produits par la lumière électrique, voici ceux qu'il a observés:

1686. Si l'on fait passer une étincelle électrique sur la surface d'un corps non conducteur, son trajet y est marqué par une raie lumineuse, claire, qui reste visible pendant longtemps dans l'obscurité; cette phosphorescence est tout à fait analogue à celle qui est produite par la lumière solaire, ou la lumière diffuse, avec quelques particularités que Placidus Heinrich a signalées.

L'intensité de la phosphorescence croît avec la force de la décharge; mais on atteint bientôt un degré qu'on ne peut dépasser sans courir le risque d'altérer les substances; en interposant entre le corps et l'étincelle une lame de verre, et faisant glisser la décharge sur la surface de cette dernière, la phosphorescence est plus faible.

Il se développe, quand la phosphorescence se manifeste, une odeur analogue à celle qui est produite dans une électrisation continuée; la lumière produite par la décharge d'une pile voltaïque de 400 paires de la grandeur d'une pièce de 5 fr. est sans effet.

Tels sont les faits principaux relatifs à la production de la phosphorescence par l'action de la lumière, qui se trouvent consignés dans l'ouvrage de Placidus Heinrich.

1687. On sait en outre depuis longtemps que les décharges électriques possèdent aussi la propriété de rendre phosphorescents, par l'élévation de température, les corps qui ont perdu cette faculté par l'action d'une chaleur trop élevée, propriété que ne possède pas la lumière solaire, du moins à un degré aussi marqué. C'est ainsi qu'un morceau de chlorophane, qui a cessé d'être phosphorescent parce qu'on a trop élevé sa température, le devient quand on le chauffe après l'avoir préalablement exposé à l'action de la décharge d'une seule bouteille de Leyde, effet que l'on n'obtient pas par l'exposition au soleil. Plusieurs fluors, ainsi que la chaux

phosphatée, se comportent de même. Enfin, des corps non phosphorescents dans l'état naturel, tels que le marbre blanc et des fluors non colorés, le deviennent par la chaleur quand ils ont été exposés aux décharges électriques. Nous ne devons pas oublier non plus de rappeler que l'on avait déjà observé que si l'on introduit des fragments de coquilles d'huîtres calcinées dans de petits tubes de verre hermétiquement fermés et placés eux-mêmes dans d'autres tubes plus longs, et que l'on fasse passer un très-grand nombre de décharges électriques à la surface extérieure de ces tubes, les fragments deviennent phosphorescents seulement quand on les chauffe. Telles sont les principales observations qui ont été faites jusqu'ici touchant l'action phosphorescente de la lumière électrique.

1688. Je commencerai d'abord par montrer que cette lumière agit, pour produire la phosphorescence, non par suite du choc ou des influences électriques ordinaires, comme on le croyait jadis, mais en raison de facultés propres à sa radiation : on place à cet effet sur l'excitateur une capsule de porcelaine remplie de coquilles d'huîtres nouvellement calcinées, et l'on fait passer à deux centimètres de distance la décharge de 18 bocaux, fig. 25; les coquilles s'illuminent aussitôt, et la lumière s'éteint plus ou moins promptement, suivant leur degré d'excitabilité.

En plaçant successivement les coquilles à une distance de l'étincelle, de 1 décimètre, de 5 décim., de 20 décim., de 30 décim., etc., la phosphorescence se manifeste toujours; seulement les effets vont en diminuant avec la distance; elle se montre encore à un intervalle beaucoup plus grand. Il faut donc admettre que dans ces diverses circonstances, l'étincelle électrique agit comme lumière seulement, puisque son action se manifeste à des distances où les influences électriques ordinaires ne sont pas appréciables. Nous dirons encore que les fluors verts se comportent de même quand ils sont soumis à l'action de la lumière électrique. Ce n'est pas

tout encore : si l'on soumet à l'expérience des coquilles d'huîtres peu excitables, placées à une distance de plusieurs décimètres, la phosphorescence produite à la première décharge est ordinairement faible; à la seconde elle est plus marquée, et en continuant les décharges, la faculté lumineuse s'exalte davantage. On voit par là que la lumière électrique directe, agissant à distance, prédispose de plus en plus les particules des coquilles d'huîtres à devenir phosphorescentes. Nous ne devons pas oublier non plus de dire que, dans les mêmes circonstances, nous avons eu occasion de remarquer que l'odeur d'hydrogène sulfuré provenant de la réaction du sulfure de calcium des coquilles sur l'eau contenue dans l'air, paraît plus sensible à mesure que le nombre des décharges augmente; ce qui semble faire croire qu'en même temps que la faculté lumineuse se développe de plus en plus à distance, la tendance à la décomposition croît en même temps.

Ces premières observations faites, et surtout m'étant rappelé l'expérience citée précédemment et dont on n'avait tiré aucune conséquence, que des coquilles d'huîtres calcinées, renfermées dans des tubes de verre et exposées à des décharges électriques n'étaient seulement phosphorescentes que par l'élévation de température, il me vint dans l'idée d'essayer si la lumière électrique, en traversant des diaphragmes de diverses substances, perdrait ou conserverait la propriété de rendre phosphorescents à distance un grand nombre de corps. Les substances dont je me suis servi comme d'écran sont le verre blanc, le verre rouge coloré par le protoxide de cuivre, le verre violet, les verres colorés des diverses teintes du prisme solaire, et le papier glace ou gélatine en feuille. Je savais parfaitement qu'à part le verre rouge, les autres verres colorés ne laissent point passer de rayons simples; mais je pensai que ces substances néanmoins suffiraient pour me donner des différences assez tranchées dans le mode de radiation électrique que j'avais le désir d'étudier.

La distance entre la capsule remplie de coquilles d'huîtres nouvellement calcinées et les boules de l'excitateur, étant toujours de 2 centimètres, je fis passer entre elles la décharge de la batterie de 18 bocaux. L'expérience se faisait dans une chambre obscure, et les yeux restaient fermés jusqu'après la décharge, afin que la rétine ne fût pas fatiguée par l'impression de la lumière électrique. Les coquilles parurent aussitôt fortement illuminées. On recommença l'expérience dix minutes après, en plaçant sur la capsule une lame de verre de 3 millimètres d'épaisseur. La décharge produisit encore la phosphorescence, mais à un degré infiniment moindre qu'avant l'interposition de l'écran; en augmentant l'épaisseur de la lame jusqu'à 8 millim., la phosphorescence fut à peine sensible, quoique le verre fût parfaitement diaphane. Cette expérience, répétée à 1 décimètre, et même à 2 décimètres de distance, a donné des effets semblables; seulement la lueur phosphorique allait toujours en diminuant. Une lame de verre de 1 millim. n'a donné qu'une phosphorescence très-faible, ainsi qu'une feuille de papier glace très-transparente, d'une épaisseur de moins d'un cinquième de millimètre.

Voilà donc des corps très-diaphanes qui laissent passer la plus grande partie des rayons lumineux, et qui enlèvent à ces mêmes rayons une grande partie de la propriété en vertu de laquelle ils rendent les corps phosphorescents.

1689. Comment le verre et la matière colorante agissent-ils en cette circonstance? Quel rapport y a-t-il entre les effets produits et ceux qui ont été obtenus par M. Melloni? C'est ce que je n'ai pas l'intention de traiter ici.

Poursuivons les expériences. Une lame de verre rouge, d'une épaisseur de 2 millimètres, substituée au verre blanc, a enlevé entièrement à la lumière le pouvoir phosphorescent, tandis qu'une lame de verre violet foncé sensiblement, de même épaisseur, s'est comportée à peu près comme le verre blanc. J'ai cru voir, dans plusieurs

expériences, que l'effet était plus marqué; mais comme je n'avais pas de moyens de comparaison, il m'est impossible d'en donner ici l'assurance. Le verre bleu produit un effet plus faible que le verre violet. Les verres jaunes, verts, enlèvent tout à fait à la lumière électrique qui les traverse le pouvoir phosphorescent. On voit donc d'abord que le verre blanc enlève aux rayons lumineux une grande partie de leur puissance phosphorescente, et que la quantité de pouvoir qui est enlevée par les verres violets va en augmentant au fur et à mesure que l'on prend des verres bleu, vert, jaune, orangé et rouge, ce dernier détruisant entièrement le pouvoir phosphorescent.

Or, comme les rayons rouges sont ceux qui en général possèdent la faculté calorifique, tandis que les rayons violets sont ceux qui possèdent au plus haut degré la faculté chimique, il serait important d'examiner si la propriété phosphorescente de la lumière électrique dépend de la portion de la radiation qui produit les actions chimiques, ou d'une radiation non encore étudiée.

L'expérience suivante confirme encore l'effet que je viens de signaler des écrans de verre blanc placés sur le trajet de la lumière. J'ai exposé des coquilles d'huîtres nouvellement calcinées à la lumière d'un morceau de phosphore brûlant dans un flacon de verre rempli de gaz oxigène; la lumière émise était des plus intenses, et cependant la phosphorescence développée avait très-peu d'intensité.

En résumé, on voit que la lumière électrique, outre ses propriétés lumineuses, physiques et chimiques, possède encore une faculté phosphorescente que lui enlèvent en totalité ou en partie différentes substances qui laissent passer cette lumière sans diminution sensible.

J'ajouterai que l'étincelle électrique ne paraît pas posséder des radiations calorifiques, attendu qu'elle n'affecte pas sensiblement une pile thermo-électrique placée à une très-faible distance, comme M. Edmond Becquerel l'a prouvé.

§ II. *Sur la nature de la radiation émanée de l'étincelle électrique, qui excite la phosphorescence à distance.*

1690. Après que j'eus fait connaître à l'Académie des sciences les faits précédents, M. Biot m'exprima le soupçon que l'action exercée pouvait ne pas provenir de la portion de la radiation électrique qui produit la sensation de la lumière sur la rétine humaine, mais de quelque portion d'une radiation distincte de la précédente; de même que la radiation calorifique émise en même temps que la lumière par les corps incandescents, se distingue de celle-ci dans les expériences de M. Melloni, quand elle est absorbée par les faces d'une pile thermo-électrique revêtues de noir de fumée. Il ajouta que mes expériences mêmes, faites avec des écrans de diverses natures, lui semblaient indiquer cette distinction; il me proposa d'examiner avec lui, par l'expérience, si elle se réaliserait, ce que j'acceptai.

Nous étant donc réunis dans mon laboratoire, nous avons fait ensemble les expériences que je vais raconter.

1691. On a d'abord constaté les résultats que j'avais obtenus sur l'influence directe de la lumière électrique agissant à distance à travers l'air. Des écailles d'huîtres ont été calcinées, puis exposées pendant quelque temps à la lumière solaire qui était très-faible alors; ramenées dans l'obscurité, elles parurent sensiblement phosphorescentes. Mais cette propriété s'éteignit bientôt; quand elle eut tout à fait disparu, on répartit la matière calcinée dans plusieurs capsules de porcelaine qui furent placées à diverses distances, depuis 2 centimètres jusqu'à 135 centimètres, de deux petites sphères de cuivre entre lesquelles on faisait passer l'étincelle d'une batterie chargée toujours au même degré de l'électromètre à balles. La phosphorescence reparut sensiblement dès la première décharge, mais elle fut alors très-faible et à peine subsistante; à la seconde, elle fut plus vive et plus durable, et elle augmenta ainsi progressivement jusqu'à la

cinquième dans toutes les capsules, comme je l'avais précédemment remarqué. La lueur présentait principalement les teintes du rouge, du jaune et du vert. On ne poussa pas plus loin l'épreuve. Ayant ainsi constaté que la matière calcinée était sensible à l'influence directe, on forma un écran mixte composé d'une lame de verre et d'une plaque de cristal de roche, également limpide, mastiquées l'une à l'autre par leurs bords, de manière qu'une de leurs surfaces se trouvât dans un même plan. L'épaisseur du verre était $3^{mm}\frac{13}{20}$. Ce qui, au degré actuel de sensibilité de la substance, devait, d'après mes expériences, la préserver presque totalement; mais pour le cristal, l'épaisseur était presque double et égale à 5^{mm} 953. C'était la plaque appelée *i* dans les expériences de M. Melloni, et mentionnée page 501 du Rapport de l'Académie. La diathermansie du cristal de roche, bien plus grande que celle du verre, devait lui permettre de transmettre, malgré son excès d'épaisseur, une plus forte proportion de la radiation totale incidente et des portions d'une autre nature, sans offrir aucune différence de diaphanéité sensible à l'œil. L'écran mixte fut posé sur la capsule de manière que la ligne de séparation de ses deux parties répondît au milieu de l'intervalle des boutons de cuivre entre lesquels devait s'élancer l'étincelle, fig. 25. Celle-ci ayant eu lieu, la phosphorescence reparut aussitôt vive et brillante sous la plaque de cristal de roche, mais elle fut nulle ou insensible sous la plaque de verre; la projection de celle-ci se distinguait en noir à côté de l'autre, comme si on l'eût tracée à la règle. Bientôt l'excitation opérée s'affaiblit, et tout rentra dans l'obscurité après peu d'instants. Alors on retourna l'écran, ce qui intervertissait les places sur lesquelles les deux parties se projetaient, et l'on recommença l'expérience. L'issue en fut la même. Après la décharge, la matière calcinée resta obscure sous le verre, et devint phosphorescente sous le cristal. Plus tard, on s'aperçut que l'excitation opérée dans cette dernière portion se propageait graduellement à l'autre avant de s'éteindre.

On forma alors un nouvel écran mixte en joignant une portion de la même lame de verre, épaisse seulement de $3^{mm}\frac{11}{20}$, avec une plaque de chaux sulfatée limpide, ayant pour épaisseur $7^{mm}\frac{19}{20}$. On avait choisi cette substance à cause de sa diathermansie, analogue à celle de l'alun. Du reste, sa diaphanéité ne le cédait point à celle du verre. Malgré sa structure lamelleuse et son épaisseur, elle se montra supérieure, non-seulement au verre, mais peut-être même au cristal de roche, pour la transmission phosphorogénique. La projection de la plaque cristallisée se dessinait en lumière sur la matière calcinée avec toutes les sinuosités de son contour. La partie située au-dessous du verre continuait de rester obscure; peut-être toutefois l'était-elle par comparaison. L'expérience fut répétée en renversant l'écran mixte: elle eut encore le même résultat.

On n'hésita point alors à faire un troisième écran mixte, où une portion de la même lame de verre était accolée à une plaque de cristal de roche limpide, perpendiculaire à l'axe, ayant $41^{mm}\frac{5}{20}$ d'épaisseur. Certainement s'il y avait pu avoir quelque avantage de diaphanéité, il eût été du côté du verre, à cause du grand excès d'épaisseur du cristal. Cependant le sens des effets resta pareil. Ce fut sous le canon de cristal seul que la phosphorescence apparut. Il en fut de même dans une seconde expérience où le lieu des projections était interverti. Au reste, après les résultats obtenus avec la plaque de 6 millimètres, l'essai de celle-ci ne nous offrait aucun doute; car, en analysant les expériences de M. Melloni, on voit qu'un flux rayonnant qui a traversé 6 millimètres de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, est déjà si épuré par cette substance, qu'il peut s'y propager ensuite jusqu'à l'épaisseur de 86 millimètres, en n'éprouvant plus qu'une excessivement petite absorption. Toutefois ce genre d'analogie ne peut, tout au plus, être employé que pour une même nature d'écran et pour une même source rayonnante, agissant sur une matière de sensibilité égale. Or, dans les expériences de M. Mel-

loni, la pile revêtue de noir de fumée atteste seulement l'existence des portions de la radiation qui produisent sur elle l'impression calorifique; et s'il existait des rayons non calorifiques, quoique doués de propriétés différentes, il se pourrait qu'ils fussent insensibles pour elle et qu'elle ne les annonçât point.

1692. Pour savoir si la radiation phosphorogénique se propageait seulement en ligne droite, à travers l'air, nous avons couvert la capsule qui contenait la matière impressionnable avec un papier opaque percé d'un petit trou rond d'environ 1 millimètre de diamètre, que nous avons fait répondre au centre de la surface de la matière. Le papier enlevé subitement après la décharge a laissé voir à ce centre un tout petit cercle lumineux d'un éclat très-vif, le reste de la matière demeurant obscur. Mais peu à peu le reste s'est aussi ému, et la phosphorescence a fini par se propager à toute la surface de la matière, puis l'effet s'est affaibli graduellement, et après quelques instants il s'est éteint.

1693. Nous avons essayé la transmission à travers une feuille de papier glace extrêmement mince; elle y a été faible, mais sensible. D'après les expériences de M. Melloni, la gélatine dont ce papier est fait est une des substances les moins diathermanes; mais, comme toute autre, elle le devient davantage quand elle est plus amincie.

Néanmoins l'effet obtenu ici nous semblait plus fort que nous ne l'aurions attendu d'après nos précédentes observations. Notre surprise augmenta en voyant que la lame de verre de $3^{mm}\,\frac{11}{20}$, précédemment essayée, devenait actuellement efficace, et que même une autre plaque de verre, épaisse de 22 millimètres, donnait aussi des effets marqués. Nous comprîmes alors que la matière contenue dans la capsule était devenue plus impressionnable par la répétition de l'excitation que nous lui avions fait subir. Nous recommençâmes donc nos expériences avec les écrans mixtes précédemment employés. Dans ce nouvel état de la substance, la phosphorescence fut très-

visible sous la lame de verre ; mais aussi elle se montra tellement vive sous la plaque de cristal de roche et sous la plaque de chaux sulfatée limpide, que la lueur paraissait complétement blanche sous toutes leurs projections, dont les contours se trouvaient encore parfaitement définis par leur excès de lumière. Ces deux plaques manifestaient donc ainsi encore leur excès d'efficacité précédemment reconnu. Conséquemment ces nouvelles épreuves ne faisaient que rendre les premières encore plus certaines, en montrant que si la phosphorescence ne s'était pas alors opérée sous la lame de verre, c'était par le trop peu de sensibilité de la substance qui recevait la radiation, et non parce que cette radiation ne lui parvenait point. Maintenant donc cette substance devenue plus impressionnable acquérait la propriété phosphorique par l'influence de certaines portions de la radiation transmise qui, précédemment, ne l'excitait pas, ou du moins ne l'excitait pas assez pour qu'elle émît une radiation lumineuse sensible à nos yeux.

1694. Nous avons étudié ensuite la transmission de la radiation phosphorogénique à travers des plaques de cristal de roche enfumé. Voici quel était notre but.

M. Melloni a prouvé que les radiations calorifiques émanées de la lampe Locatelli, du platine incandescent et du cuivre chauffé à 100°, se transmettent aussi bien et à très-peu près aussi abondamment à travers le cristal de roche enfumé qu'à travers le cristal de roche limpide, taillé perpendiculairement à l'axe de sa cristallisation, malgré la grande différence de diaphanéité que ces deux variétés présentent pour l'œil. Cette identité presque exacte de transmission a été confirmée par le calcul jusqu'à l'épaisseur de 86 millimètres. Nous avons voulu voir si elle subsisterait pour la radiation phosphorogénique.

Nous avons essayé d'abord une plaque perpendiculaire à l'axe, dont l'épaisseur était de $21^{mm}\frac{15}{20}$.

Elle nous avait été obligeamment prêtée par M. Babinet; sa structure interne, étudiée par la polarisation, était

très-régulière; mais, quoique fort limpide, elle éteignait considérablement la radiation lumineuse, et le ciel, vu à travers son épaisseur, paraissait incontestablement beaucoup plus sombre qu'à travers une lame de verre de $3^{mm}\frac{11}{20}$. Nous l'avons accolée à une pareille lame pour en former un écran mixte, que nous avons placé, comme précédemment, au-dessus d'une capsule remplie d'écailles d'huîtres récemment calcinées, dont nous venions de constater la sensibilité par l'influence directe de la radiation électrique, transmise à distance à travers l'air. Dans une première expérience, la distance du milieu de l'étincelle à la surface de la matière sensible était de 12 centimètres. Toute la portion de cette surface, située sous le cristal, a été illuminée en forme hexagonale conformément à sa configuration. La portion située sous le verre est restée obscure.

L'expérience a été répétée en rapprochant la substance sensible jusqu'à 7 centimètres de l'étincelle; les effets ont été pareils, mais plus remarquables sous le cristal. Ils sont restés nuls ou inappréciables sous le verre, comme précédemment. Ils fussent devenus sensibles, sans doute, si la matière calcinée eût été plus excitable ou plus excitée. Mais il valait mieux ici qu'elle le fût moins, parce que l'inégalité d'impression à travers les deux parties de l'écran restait plus évidente. Nous avons soumis à la même épreuve une autre plaque de quartz enfumé, pareillement limpide, mais épaisse de 90 millimètres, que nous avait aussi prêtée M. Babinet. Les faces de celle-ci étaient obliques à l'axe de cristallisation, et elles paraissaient avoir été taillées dans un bloc sans autre intention que d'en faire un ornement. Les effets opérés à travers cette plaque ont été sensibles, mais très-faibles; bien plus faibles indubitablement qu'ils ne l'eussent été à travers une plaque limpide perpendiculaire à l'axe. Une autre plaque très-enfumée, épaisse seulement de 29^{mm}, et appartenant aux collections du Jardin des Plantes, ne nous a offert aucune trace appréciable d'effets. Nous n'avons pas déterminé le sens dans lequel elle était tail-

lée, mais elle était traversée obliquement par une grande fissure qui s'étendait dans une grande partie de son diamètre. Toutefois, les résultats observés à travers la première plaque de cristal de roche enfumé perpendiculaire à l'axe et épaisse de 21 millimètres $\frac{3}{4}$, dans les mêmes circonstances où une lame de verre de $3^{mm}\ \frac{11}{20}$, bien plus diaphane, n'en produisait pas d'appréciables, suffisent pour prouver que la portion de la radiation électrique qui excite la phosphorescence est physiquement distincte de celle qui produit la vision sur la rétine humaine. Les expériences avec les écrans diaphanes, faites avec divers degrés de sensibilité de la matière calcinée, prouvent aussi qu'une même portion de la radiation totale est ou n'est pas efficace à produire la phosphorescence selon l'état plus ou moins excitable de la substance qui la reçoit. Enfin, les expériences de M. Melloni, sur la radiation émanée des causes incandescentes de diverses natures, ont prouvé que la portion de cette radiation qui produit l'impression calorifique est pareillement distincte de celle qui excite dans la rétine humaine la sensation de la vision. D'après cela, il est naturel de penser que ces portions déjà observées des radiations, ou peut-être d'autres qui les accompagnent, peuvent avoir encore bien d'autres propriétés spécifiques différentes des précédentes, propriétés qu'elles montreront lorsqu'on essayera de les faire agir sur des matières sensibles à leur action spéciale, et propres à manifester leur existence par d'autres phénomènes que la sensation de la vision dans la rétine de l'homme, ou l'excitation de la phosphorescence, ou le développement de la chaleur.

1695. Dans le cours des expériences qui viennent d'être décrites, nous avons employé aussi pour écran une lame d'eau contenue dans un anneau de verre dépoli, fermé par des lames minces de cristal de roche limpide perpendiculaire à l'axe. L'épaisseur de l'eau entre les lames était de $3^{mm}\ \frac{10}{20}$. Un diaphragme circulaire de papier opaque appliqué sur la lame supérieure laissait

seulement découverte la partie centrale de l'anneau, et assurait la transmission à travers le liquide. La radiation émanée de l'étincelle électrique étant ainsi transmise, s'est montrée efficace pour exciter la phosphorescence; mais nous n'avons pas déterminé le rapport avec les autres écrans à égale épaisseur.

Pour constater les phénomènes qui viennent d'être décrits, il faut que l'observateur reste dans une complète obscurité, et s'y soit tenu déjà depuis un quart d'heure au moins avant de commencer les expériences. Les boules terminales des conducteurs, entre lesquelles s'opère l'étincelle, doivent se trouver dans cette même obscurité au-devant de lui; et la disposition des capsules ainsi que des écrans doit se faire en n'admettant que le moins de lumière possible. Tout étant préparé et l'observateur tenant l'écran mixte au-dessus de la capsule par un manche isolant, il ferme les yeux pendant que l'on charge la batterie, et prévenu du moment où l'on va opérer la décharge, il couvre encore ses yeux avec celle de ses mains qui est libre, pour se soustraire autant que possible à la vive lumière qui se produit. Dès qu'il a entendu l'explosion, il ouvre les yeux en retirant l'écran avec rapidité; alors il a tout le temps et toute la facilité nécessaires pour constater l'existence de la lumière phosphorique produite et pour en étudier les détails.

§ III. *Phosphorescence produite par l'étincelle électrique éclatant dans l'air à diverses pressions.*

1696. Boyle est, je crois, le premier qui ait cherché à observer la phosphorescence des substances organiques sous le récipient d'une machine pneumatique. Il a vu qu'à mesure que l'air était raréfié, la lueur émise par le bois et les poissons phosphorescents diminuait, et qu'elle cessait enfin quand on avait fait le vide; il en conclut que l'air était nécessaire à la production du phénomène. Des-

saignes a remarqué en outre que dans l'acte de la phosphorescence des corps organisés, il y a production d'acide carbonique, et que ces corps ne peuvent devenir lumineux que dans les milieux où la formation de cet acide est possible. On en a tiré la conséquence que les corps organisés devenaient phosphorescents très-probablement par suite de la réunion des électricités dégagées dans les réactions lentes de leurs parties constituantes sous l'influence des agents extérieurs. D'un autre côté, on sait depuis longtemps que les substances minérales phosphorescentes brillent dans l'air comme dans le vide barométrique, après avoir été préalablement exposées pendant quelque temps à la lumière du jour, entre autres les pyrophores de Canton et de Bologne, le diamant, etc. M. Edmond Becquerel a entrepris une série de recherches dans le but d'étudier la phosphorescence produite par l'étincelle électrique éclatant dans l'air à diverses pressions. Voici les principaux résultats obtenus par ce jeune physicien.

Pour voir si la lueur émise par les substances phosphorescentes diminue plus rapidement dans le vide que dans l'air, il a mis des coquilles d'huîtres calcinées dans deux capsules différentes, et, les ayant exposées à la lumière du jour, il les plaça, l'une sous le récipient d'une machine pneumatique, l'autre à côté de la cloche à l'air libre. En faisant le vide rapidement dans la cloche, il n'a pas vu la phosphorescence des coquilles diminuer sensiblement, et au bout d'un quart d'heure l'intensité de la lumière émise par les coquilles contenues dans les deux capsules était la même, autant qu'il a pu en juger par une simple comparaison.

Afin de s'assurer si la lumière électrique agissait de même que la lumière solaire pour rendre ces corps phosphorescents dans le vide, une lame de chaux sulfatée a été placée de manière à fermer exactement une ouverture pratiquée à la partie supérieure d'une cloche dont on avait raréfié l'air, après y avoir placé, à quelques centimètres au-dessous de la lame, une capsule remplie de

coquilles d'huîtres calcinées. En excitant alors au-dessus de la chaux sulfatée, dans l'air, une étincelle provenant de la décharge d'une batterie de dix-huit bocaux, les coquilles furent fortement illuminées. En laissant rentrer l'air dans la cloche, et excitant une seconde décharge de la batterie chargée au même degré que précédemment, les coquilles ne devinrent pas sensiblement plus brillantes que la première fois.

On avait employé la chaux sulfatée, parce que cette substance, d'après les recherches précédentes, laisse passer totalement la propriété phosphorogénique de l'étincelle électrique.

Les coquilles d'huîtres dont M. Edmond Becquerel a fait usage avaient été calcinées avec du persulfure de potassium; ce pyrophore, comme on le sait, donne, par insolation et par l'étincelle électrique, une lumière vert-jaunâtre excessivement vive.

Dans les expériences précédentes, l'étincelle électrique avait éclaté dans l'air; il voulut voir ce qui se passait quand elle était produite dans le vide.

Après avoir placé une capsule remplie de coquilles d'huîtres sous le récipient d'une machine pneumatique, il fit passer à quelques centimètres de leur surface, dans l'air raréfié, la décharge de la batterie : les coquilles furent illuminées faiblement; plusieurs décharges produisirent le même résultat. En laissant entrer un peu d'air sous la cloche, et faisant passer de nouveau la décharge, les coquilles devinrent plus phosphorescentes; enfin, en laissant rentrer tout l'air sous la cloche, les coquilles, après l'étincelle, furent très-phosphorescentes. Cette expérience, recommencée plusieurs fois avec des coquilles et de la chaux sulfatée verte, a donné les mêmes résultats.

Pour prévenir l'objection que les coquilles devenaient plus phosphorescentes en raison de l'excitabilité produite par une série d'étincelles, il s'est procuré du phosphore de Bologne peu phosphorescent (sulfate de baryte calciné), et l'ayant placé sous la cloche il excita à plusieurs

centimètres de distance, successivement dans l'air à la pression ordinaire, et dans l'air raréfié, des décharges de la batterie chargée toujours à 60° de l'électromètre à balles; ce phosphore ne devenait seulement phosphorescent d'une manière appréciable que quand l'étincelle éclatait à travers l'air à la pression ordinaire, tandis qu'il restait presque obscur quand la décharge traversait l'air raréfié.

1697. Afin de pouvoir comparer avec quelque exactitude la lueur phosphorescente des coquilles quand l'étincelle éclate dans l'air à la pression ordinaire, et dans l'air raréfié et comprimé, M. Edmond Becquerel a fait usage de l'appareil, fig. 26.

A B, C D sont deux ballons en verre, percés de trous dans lesquels sont passées des tiges de cuivre *a b*, *c m*, *n d*, *e f*, destinées à transmettre la décharge dans leur intérieur; les tiges *cm*, *nd* communiquent entre elles, et *ef* est en rapport avec le sol, de telle sorte qu'en établissant une communication entre la tige *ab* et l'intérieur de la batterie, l'étincelle éclate en même temps dans les deux ballons.

ab passant dans une boîte à cuir peut être enfoncée ou retirée jusqu'à ce que l'étincelle, éclatant en même temps dans les ballons, rende les coquilles placées en B et D également phosphorescentes. On adapte alors une pompe pneumatique au ballon CD, et l'on raréfie l'air, puis, en excitant une décharge entre les tiges en cuivre, on voit, après l'étincelle, les coquilles placées en D dans l'air raréfié, beaucoup moins lumineuses que celles qui sont en B dans l'air à la pression ordinaire. Au lieu de raréfier l'air dans CD, on le comprime au moyen d'une pompe de compression, à trois ou quatre atmosphères. En opérant une décharge sans avoir dérangé le système des tiges, on voit au contraire que les coquilles qui sont en D dans l'air comprimé sont plus phosphorescentes que celles qui sont en B à la pression ordinaire. D'après ces expériences, il n'est plus permis de douter que la pression de l'air n'influe sur la production

du phénomène. Comme cette pression n'agit pas sur les coquilles pour les rendre phosphorescentes, c'est donc l'étincelle qui est modifiée. On peut conclure des faits rapportés ci-dessus, que lorsqu'on décharge une batterie toujours chargée au même degré, l'étincelle qui en résulte, quand cette décharge a lieu dans l'air à une pression moindre ou plus grande que la pression atmosphérique, est tellement modifiée, que sa radiation communique aux différentes substances une phosphorescence moindre ou plus grande que celle qui a lieu à la pression ordinaire. Davy a montré, à la vérité, que moins il y avait de particules matérielles dans les milieux traversés par l'étincelle, plus la lumière de cette même étincelle diminuait d'intensité; mais je ferai remarquer que si l'on fait passer des décharges de très-fortes batteries dans le vide pneumatique, la lumière qui en résulte paraît aussi vive que dans l'air à la pression ordinaire. La cause du phénomène échappe donc à nos investigations. Le défaut de moyens nécessaires pour comparer les lumières de cette nature ne permet pas d'apprécier le degré d'intensité de la lueur phosphorescente. Si l'on met dans un des ballons de l'acide carbonique à la pression ordinaire au lieu d'air, l'effet que l'on obtient sur les coquilles après la décharge est sensiblement le même que dans l'air à la même pression. Cependant il y a une différence entre l'étincelle qui éclate dans l'air ou dans l'acide carbonique, différence provenant de la nature du gaz, comme l'a observé M. Faraday; mais elle est telle qu'elle ne se manifeste pas d'une manière appréciable pour rendre inégalement phosphorescentes les coquilles.

§ IV. *Sur la phosphorescence par élévation de température.*

1698. Canton, un des physiciens qui se sont le plus occupés de la phosphorescence des minéraux par élévation de température, a remarqué que son pyrophore ne devenait phosphorescent par la chaleur qu'autant qu'il

avait été préalablement exposé aux rayons solaires. Cette propriété appartient encore à plusieurs pyrophores artificiels, quand on substitue aux rayons solaires l'étincelle électrique, comme l'a fait Pearseall. Il paraît donc que la radiation de la lumière solaire ou celle de la lumière électrique agit sur les coquilles en leur donnant un nouveau mode d'arrangement moléculaire qui est instable; les électricités dégagées, au fur et à mesure que les molécules reprennent leur position primitive d'équilibre, se recombinent et forment la lueur phosphorique. Les corps bons conducteurs ne sont jamais phosphorescents, comme je l'ai déjà dit, parce que les électricités, dégagées par l'action des rayons solaires, se réunissent immédiatement au contact, avant d'avoir acquis une certaine tension.

Une preuve que la phosphorescence est due à un nouveau mode d'arrangement moléculaire, c'est que les diverses variétés de chaux fluatée ne sont phosphorescentes qu'autant qu'elles sont colorées, bien qu'elles aient toutes la même composition chimique. Pearseall, en soumettant de la chaux fluatée blanche à des décharges électriques, lui a communiqué en certaines parties une teinte violacée, de manière à lui donner dans ces mêmes parties l'aspect d'une fluorine violette naturelle; elle devient alors phosphorescente par la chaleur, comme celle-ci.

On sait que, si, après avoir exposé des coquilles à la lumière, on les porte dans l'obscurité, elles s'éteignent peu de temps après et redeviennent lumineuses par élévation de température. M. Edmond Becquerel a voulu savoir si un abaissement très-grand de température diminuait la phosphorescence des coquilles. Le résultat a confirmé ses prévisions. Ayant pris des coquilles phosphorescentes par insolation, une partie fut placée dans une capsule plongée dans un mélange réfrigérant à — 20°, et l'autre dans une capsule à la température ordinaire; on vit alors les coquilles dont on avait abaissé la température perdre leur phosphorescence plus rapidement que les autres.

Ayant mis des coquilles d'huîtres calcinées dans deux capsules différentes, l'une à la température ordinaire, l'autre placée dans un mélange réfrigérant, elles furent exposées pendant peu de temps à la lumière solaire et reportées dans une chambre obscure; elles donnèrent sensiblement, même un quart d'heure après, la même lueur. Mais les coquilles étant redevenues obscures, si l'on mettait celles qui se trouvaient dans un mélange réfrigérant dans une capsule à la température ordinaire, elles redevenaient phosphorescentes pour s'éteindre bientôt; en élevant alors la température, la lueur reparaissait.

Que l'on prenne une pelle chauffée à 100° ou 200° à peu près, et que l'on projette dessus des coquilles nouvellement calcinées, puis qu'on les expose ainsi à l'action des rayons solaires et qu'on les rentre immédiatement dans l'obscurité, elles présentent une lueur phosphorique de peu de durée. Quand la pelle est chauffée à la température rouge, alors les coquilles exposées à la lumière ne sont plus phosphorescentes.

On voit par cette alternative de phosphorescence à diverses températures, que les corps sont excités par la radiation d'une manière différente suivant la température, et que plus celle-ci est basse, plus les corps sont excitables quand on les porte ensuite à la lumière.

CHAPITRE V.

DE LA NATURE DES RADIATIONS QUI EXCITENT LA PHOSPHORESCENCE ET QUI DÉTERMINENT QUELQUES ACTIONS CHIMIQUES.

1699. J'ai déjà parlé précédemment des expériences de Grothuss touchant l'influence des divers rayons colorés du spectre sur la production de la phosphorescence, et desquelles il résulte que de tous les rayons lumineux les rayons violets sont ceux qui excitent le plus la phosphorescence, tandis que les rayons rouges sont ceux qui l'excitent le moins. Wilson et Ritter firent les mêmes observations; mais ils précisèrent mieux les faits en annonçant que les corps qui sont lumineux dans l'obscurité perdent instantanément cette propriété quand on les expose à l'action de l'extrémité rouge du spectre. M. Edmond Becquerel, en répétant ces expériences sur des coquilles d'huîtres calcinées avec du persulfure de potassium, a reconnu que les coquilles deviennent phosphorescentes bien au delà de la limite du violet. Cette expérience montre bien dans les rayons solaires la présence de radiations particulières qui excitent la phosphorescence.

M. Biot a entrepris quelques recherches dans le but de reconnaître la relation qui existe entre la nature des radiations qui excitent la phosphorescence et celle des radiations qui déterminent certaines actions chimiques.

Pour étudier l'influence des verres colorés, il a analysé ces verres, attendu qu'il n'y en a que très-peu qui

laissent passer des couleurs simples; en général la teinte des verres colorés n'est donc que la résultante des sensations opérées dans l'œil par la somme des rayons lumineux simples qu'ils transmettent, laquelle dépend de leur épaisseur et des matières employées dans leur composition. Les éléments de cette somme peuvent se déterminer en analysant par le prisme la lumière totale transmise par chaque verre, et la teinte qui résulte pour l'œil peut se déduire de cette analyse au moyen d'une règle expérimentale que Newton a donnée.

D'un autre côté, les expériences de M. Melloni ont montré, comme je l'ai déjà fait remarquer, que la faculté de ces verres pour transmettre ou absorber certains rayons de lumière est distincte de leurs facultés pour transmettre ou absorber les rayons calorifiques.

M. Biot, guidé par ces analogies, a choisi les verres colorés qui devaient être les plus propres à caractériser les portions de la radiation qui excitent la phosphorescence ou impressionnent le papier sensible de M. Daguerre, préparé avec l'éther muriatique et le nitrate d'argent.

Il a commencé à faire des expériences sur les écailles d'huîtres calcinées qui lui ont offert les phénomènes suivants : après avoir été tenues longtemps dans l'obscurité, leur phosphorescence ne s'est pas rétablie par l'action à distance d'un vase rempli d'eau chaude, mais elle s'est excitée très-faiblement et progressivement par son contact, comme cela devait être.

Parmi les coquilles d'huîtres préparées, il s'est trouvé des fragments dont les uns, après l'exposition à la radiation atmosphérique, émettaient une lueur d'un jaune verdâtre, et les autres une lueur d'un rouge jaunâtre sombre analogue à la teinte des charbons embrasés dans un foyer ouvert. Ces deux classes de fragments ont été placés au fond de capsules différentes, dans une chambre obscure; puis on les a illuminés par la flamme jaune de l'alcool salé, qui a été allumée et éteinte pendant que l'observateur tenait les yeux fermés. L'opération ayant

été répétée quatre fois, les fragments contenus dans les capsules sont devenus de plus en plus phosphorescents; mais leur lueur a été la même dans toutes les capsules: c'était une blancheur pâle, peut-être un peu verdâtre, dans laquelle il était impossible d'apprécier aucune distinction de nuance. Ayant pris les fragments qui, sous l'influence de la radiation atmosphérique, émettaient une teinte jaune légèrement verdâtre, et les distribuant dans deux capsules complétement recouvertes de boîtes de carton à fond percé, auxquelles on avait hermétiquement lutés, des écrans de verre coloré, l'un d'eux transmettait un rouge sensiblement simple : c'est le verre coloré superficiellement par le protoxide de cuivre; le second verre, interposé dans la lumière d'une bougie dispersée par un prisme très-réfringent, donnait une image rouge simple bien définie, séparée par un grand intervalle de bleu et de violet très-dilaté. Ce verre paraissait d'un beau violet fort sombre.

Les fragments placés sous ces deux verres ont été exposés pendant 20 secondes à la radiation atmosphérique d'un ciel presque serein. Les capsules étant rentrées successivement dans l'obscurité, puis observées aussitôt après l'enlèvement des écrans, les fragments qui étaient placés sous le verre rouge n'ont pas paru sensiblement phosphorescents; tandis que ceux que recouvrait le verre violet jetaient une faible lueur d'un blanc peut-être un peu verdâtre. Remis nus sous l'influence directe de la radiation atmosphérique, ces fragments se sont montrés un peu lumineux, et peut-être un peu plus verdâtres. Après qu'ils ont paru éteints, on les a soumis de nouveau à la radiation atmosphérique, sous le verre rouge pur, pendant un temps beaucoup plus long; ils ont encore acquis une très-faible lueur qui avait la même apparence.

M. Biot a fait une autre expérience pour apprécier les différences de coloration, mais non d'intensité, dans la lueur phosphorescente excitée. Il a associé à cet effet les verres colorés rouge et violet à un verre bleu, à un verre d'une très-belle teinte verte, et à un autre verre

d'un vert bleuâtre ou bleu verdâtre, qui jouit de singulières propriétés. Ce dernier est analogue au verre vert, que M. Melloni a trouvé si rebelle à la transmission des rayons calorifiques, surtout aux rayons émergents de l'alun.

Or, en rapprochant les expériences de M. Melloni de celles qui ont été faites par M. Biot, il semble évident que les rayons transmis par l'alun sont très-peu efficaces pour exciter les impressions calorifiques, et, au contraire, très-efficaces pour déterminer les phénomènes chimiques. Il était donc probable que cette espèce de verre, quoique très-transparent, serait particulièrement inefficace pour exciter la phosphorescence et pour impressionner le papier préparé avec l'éther muriatique et le nitrate d'argent. Cette conjecture s'est parfaitement confirmée.

La radiation transmise par ce verre ne produit aucune impression sur le papier sensible; toutefois son action sur les fragments d'écailles d'huîtres calcinées n'est pas aussi absolument nulle: elle est seulement extrêmement faible, même après une exposition de 20 minutes ou d'une heure entière; mais elle est perceptible e certaine, ce qui décide une différence de limites dans les qualités des radiations qui produisent ces deux ordres d'effets.

Après ce verre vient celui qui transmet une lumière verte et jaune, très-abondante, associée seulement à une petite quantité de rouge et de bleu qui lui sont contigus. Ce verre a montré une action sensible sur les écailles et même sur le papier. Le verre rouge violacé a été, dans ces deux cas, beaucoup plus actif que les précédents, tant sur le papier que sur les écailles. Enfin, le verre rouge a été absolument inactif sur le papier impressionnable. Il a seulement imprimé aux écailles une très-faible lueur, à peine perceptible; toutefois, ce genre de verre n'est que peu inférieur au verre blanc pour la transmission des radiations purement calorifiques.

En résumé, M. Biot considère généralement les radiations émanées des corps comme composées d'une infinité de rayons ayant des qualités et des vitesses diverses, susceptibles d'être émis, absorbés, réfléchis, réfractés; et qui, selon leurs qualités propres, parmi lesquelles il faut comprendre leur nature et leur vitesse actuelle, peuvent produire la vision, la chaleur, déterminer certains phénomènes chimiques, et probablement exercer beaucoup d'autres actions encore inconnues, lorsqu'ils sont reçus par des corps ou par des organes sensibles à leurs impressions.

CHAPITRE VI.

DE LA PHOSPHORESCENCE DANS LES SUBSTANCES ORGANISÉES OU LES CORPS VIVANTS.

1700. On a déjà vu que la phosphorescence dans les substances organisées ou les corps vivants, a lieu par des actions lentes et spontanées, ou bien par la volonté de l'individu. L'étude de cette classe de phénomènes a une très-grande importance, attendu qu'elle peut nous révéler la présence de l'électricité dans quelques-uns des phénomènes de la vie. Je vais exposer avec détails les effets lumineux produits dans les corps organisés, sur lesquels j'ai donné peu de développements dans le IVe volume.

On doit placer en première ligne les poissons et les infusoires marins, vivants ou privés de la vie; et, en tête, le poisson à écailles appelé folade, la méduse phosphorique, et différents mollusques.

Les poissons de mer sont, en général, disposés à émettre de la lumière quand ils sont morts; je citerai particulièrement le merlan, le hareng et le maquereau.

On a cité aussi des quadrupèdes dont la chair est devenue spontanément phosphorescente; mais le cas est rare.

Parmi les insectes, il y en a qui jouissent, comme on sait, de cette propriété, entre autres le lampyre, plusieurs espèces de fulgores ou mouches-lanternes, la scolopendre électrique, et une espèce de crabe appelée cancer fulgens. Dans le règne végétal, on cite le bois dans un certain état de décomposition, des fleurs, des byssus, etc.

On a observé, en outre, que la quantité de lumière émise par les substances animales en putréfaction n'est pas en proportion avec la putréfaction; bien au contraire: plus celle-ci est grande, plus la quantité de lumière est faible.

1701. Si l'on prend des harengs, et qu'on les suspende dans un endroit quelconque, ils commencent assez promptement à devenir lumineux le soir; leur surface se revêt d'une matière lumineuse, qu'on enlève facilement avec un couteau; la lumière diminue à mesure que le hareng se putréfie, et finit par s'éteindre tout à fait.

L'émission de la lumière commence à se manifester avant que des signes de putréfaction se montrent. C'est donc un phénomène qui a lieu lors de la lutte entre la nature organique et la nature inorganique. On peut même préparer les poissons pour les manger sans s'apercevoir d'aucune trace de décomposition. Pour rendre assez rapidement phosphorescents les poissons, on prend 12 grammes environ de chair de hareng, que l'on met dans une solution composée de 60 grammes de sulfate de magnésie et de 4 grammes d'eau; on introduit le tout dans une fiole ordinaire, qu'on abandonne aux actions spontanées. Le deuxième jour on voit un anneau luisant flottant à la surface du liquide; tandis que la partie inférieure reste obscure. Si l'on secoue la fiole, le tout devient lumineux et persévère dans cet état. Le troisième jour, la lumière se rassemble de nouveau sur la surface; mais l'anneau lumineux paraît moins vif. En secouant la fiole, le tout devient encore lumineux.

On obtient les mêmes effets avec le sel marin.

La laite de hareng produit aussi la phosphorescence, ainsi que le maquereau et sa laite; il en est de même du crapaud. On a même remarqué que la laite du hareng et celle du maquereau émettent plus de lumière que la chair de ces deux poissons; quand elle a atteint son maximum d'intensité, ce qui arrive vers la troisième ou la quatrième nuit, elle repand alors une lumière assez vive.

1702. Hulme, qui a fait beaucoup d'expériences sur la phosphorescence spontanée, a recherché quelles étaient les substances qui éteignaient la matière lumineuse; il a trouvé que l'eau de chaux, l'eau chargée d'acide carbonique, l'eau chargée d'hydrogène sulfuré, éteignaient la phosphorescence.

Il existe, au contraire, des substances qui jouissent de la propriété de retenir la lumière spontanée, quand on les mêle avec les corps qui la possèdent. La matière enlevée de dessus un hareng étant mêlée avec une solution de 6 grammes de sulfate de magnésie, et 48 grammes d'eau, rend toute la solution lumineuse quand on l'agite. Jouissent de la même propriété : les solutions de carbonate de soude, de tartrate de potasse, le miel, le sucre en solution. Quand la lumière spontanée est éteinte par une substance quelconque, rien n'est plus simple que de la lui rendre. On prend une solution de 21 gr. de sulfate de magnésie dans 24 gr. d'eau, dans laquelle la matière lumineuse du maquereau s'est éteinte, et l'on y ajoute six fois autant d'eau : le liquide devient alors parfaitement lumineux. Il conserve cette faculté pendant 48 heures. On peut répéter l'expérience d'une manière inverse, c'est-à-dire, éteindre une solution lumineuse en y ajoutant du sulfate de magnésie. Cette expérience prouve d'une manière incontestable, que la phosphorescence est due à un arrangement moléculaire, constituant un état d'équilibre instable.

On voit donc que l'on peut éteindre et raviver une solution phosphorique un certain nombre de fois. Dans une série d'expériences, Hulme a obtenu dix extinctions.

Les solutions de sel marin produisent les mêmes effets.

La lumière spontanée est rendue plus vive par le mouvement; de plus, elle n'est pas accompagnée d'un degré sensible de chaleur au thermomètre, même le plus délicat. Des harengs lumineux placés dans un mélange frigorifique, composé de neige et de sel marin, s'éteignent peu à peu. Au bout de quelque temps, la lumière s'éteint totalement et les poissons sont gelés. En les mettant

dans de l'eau froide, pour les faire dégeler graduellement, ils reprennent leur état lumineux.

L'abaissement de température éteint également la phosphorescence du bois pourri; il en est de même de la lumière du lampyre.

1703. Voyons les effets de la chaleur.

Si l'on place devant le feu la moitié d'un hareng lumineux, et qu'on ne l'y laisse que peu de temps, mais de manière qu'il s'échauffe fortement, en le transportant dans l'obscurité, on trouve que le côté qui avait été exposé au feu est devenu sombre, tandis que l'autre reste lumineux. L'eau bouillante éteint aussi la phosphorescence. Il n'en est pas de même du bois faiblement luisant: quand on le met dans de l'eau tiède, sa phosphorescence augmente, et il finit par reluire d'une manière remarquable. En élevant la température jusqu'à l'eau bouillante, la phosphorescence s'éteint et finit par disparaître.

Il arrive quelquefois qu'un lampyre mort, qu'on met dans de l'eau à 4°, dont on élève la température jusqu'à l'ébullition, devient lumineux.

L'eau bouillante éteint des solutions salines imprégnées de matière lumineuse sur-lesquelles on la jette; mais si on les laisse quelque temps en repos, elles acquièrent une plus grande puissance lumineuse par un degré modéré de chaleur.

Lorsqu'on chauffe le fond d'un tube rempli d'un liquide qui est phosphorescent à la partie supérieure, les portions imprégnées de lumière descendent en filets jusqu'au fond et s'éteignent graduellement, en illuminant tout le liquide. Cette expérience réussit bien en opérant avec des solutions de sulfate de magnésie, de sulfate de soude, de sel marin ou de sel ammoniac. Si l'on fait usage des deux premières, la proportion la plus convenable est une partie de sel et huit parties d'eau.

Si l'on mêle le liquide lumineux avec du sérum en décomposition, la matière lumineuse est rejetée en globules et s'attache aux parois du vase.

Je ne reviendrai pas, dans ce chapitre, sur la phosphorescence des lampyres et autres animaux. Je rappellerai seulement que, dans tous, la phosphorescence paraît être le résultat d'une action chimique, que domine la volonté de l'animal, puisqu'il a la faculté de la diminuer insensiblement, jusqu'au point de la faire disparaître tout à fait. Ce phénomène rentre, jusqu'à un certain point, dans la phosphorescence spontanée.

Je dois cependant rapporter quelques observations qui serviront à jeter du jour sur la cause de la phosphorescence, et à donner par conséquent de la force à la théorie que j'en ai présentée.

Beale (1) a remarqué que des maquereaux frais, qui avaient bouilli dans de l'eau et du sel et des herbes aromatiques, avaient communiqué la propriété lumineuse à l'eau, quand on l'agitait. Ayant soumis au microscope les parties les plus lumineuses, il n'aperçut rien de particulier; néanmoins, à deux reprises, il vit quelques étincelles qui disparurent promptement. Cette observation vient à l'appui de celles du même genre qui ont été faites par M. Ehrenberg.

Ce savant physiologiste, qui a étudié la lumière émise par les infusoires et les annélides, qui rendent la mer lumineuse dans certaines contrées, surtout lorsqu'une brise légère agite sa surface, a placé sur le porte-objet de son microscope de l'eau renfermant un grand nombre de ces animalcules. Il fut fort étonné de voir que la lumière diffuse qui les entourait n'était autre chose que la réunion d'une multitude de petites étincelles qui partaient de toutes les parties de leur corps, et en particulier du corps des annélides. Ces étincelles se succédaient avec une grande rapidité, elles avaient une telle ressemblance avec celles que l'on observe dans les décharges électriques, que M. Ehrenberg n'a pas hésité à établir leur identité. Il s'est assuré en outre que la lumière émise

(1) Trans. philos., 1666.

n'est pas due à une sécrétion particulière, mais bien à un acte spontané de l'animal, et qu'elle se manifeste aussi souvent qu'on l'irrite par des moyens mécaniques ou chimiques, c'est-à-dire, en agitant l'eau ou en versant dedans de l'eau ou un acide. C'est une analogie de plus avec la torpille, qui ne lance sa décharge que lorsqu'on l'irrite. De même encore, dans ces animalcules comme dans la torpille, la décharge recommence après un certain temps de repos. De cette similitude d'effets, dans les mêmes circonstances, ne peut-on pas en conclure une identité dans les causes?

Je ferai remarquer encore que les phénomènes lumineux sont d'autant plus marqués que les animaux sont plus petits. Il semblerait que cette profusion de fluide électrique, émise par les animaux des classes inférieures, est destinée à remplir d'autres fonctions dans les animaux d'un ordre plus élevé.

Je crois avoir passé en revue, tant dans ce volume que dans le IVe, les principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur les phénomènes phosphorescents. Ces observations ont été classées avec le plus d'ordre qu'il m'a été possible et de manière à montrer la relation qui existe entre tous ces phénomènes.

On a vu que la phosphorescence est produite par le frottement, la percussion, les actions mécaniques, en général, la lumière, la chaleur, les décharges électriques, les actions chimiques vives ou lentes, et l'acte de la volonté chez les animaux des classes inférieures qui possèdent cette faculté, souvent à un haut degré, tandis que les classes supérieures en sont privées. La phosphorescence est donc produite toutes les fois que les particules des corps éprouvent un dérangement quelconque dans leur position d'équilibre.

Or, comme, dans les mêmes circonstances, l'équilibre des deux électricités qui sont associées aux particules des corps est également troublé, leur recomposition, quand elle s'effectue à une tension convenable, doit produire de la lumière, et par suite la phosphorescence,

Dès lors, dans les corps très-bons conducteurs, la recomposition étant immédiate, les deux électricités ne peuvent acquérir la tension suffisante pour former de la lumière; aussi n'existe-t-il aucun moyen de les rendre phosphorescents.

On peut demander comment il se fait que la lumière soit une cause productive de la phosphorescence. La réponse est facile. La lumière ne produit-elle pas des actions chimiques? dès lors, elle dérange l'équilibre des molécules de certains corps et met en jeu les forces électriques.

La lumière change tellement, dans certaines circonstances, le mode de groupement des molécules, que lorsque l'on soumet à l'action des décharges électriques des cristaux de spath-fluor non phosphorescents, ils prennent une teinte violacée, et deviennent alors phosphorescents.

Quoi qu'il en soit, la lumière ne paraît pas agir directement sur les particules des corps, mais bien sur l'électricité qui leur est associée; l'état d'équilibre de l'électricité étant troublé, la position des particules peut changer, et il y a alors émission de lumière.

On voit donc que les phénomènes de phosphorescence peuvent servir à resserrer les liens qui existent entre tous les agents impondérables, dérivant ou non d'une seule et même cause, diversement modifiée.

L'origine électrique que j'attribue à la phosphorescence est appuyée sur un si grand nombre de faits, que les physiciens partageront, je crois, mon opinion à cet égard.

CHAPITRE VII.

DES TÉLÉGRAPHES ÉLECTRIQUES.

1704. Je ne veux pas terminer l'exposé des applications qu'on a faites des actions électriques aux sciences physiques et à l'industrie, sans parler des télégraphes électriques, quoique les documents nous manquent pour traiter la question aussi complétement que je le désirerais. Je me bornerai donc à exposer les principes sur lesquels repose leur construction.

Depuis plus de quarante ans, c'est-à-dire, depuis l'époque où les recherches sur l'électricité ont pris une grande extension, on s'occupe des moyens de transmettre des signaux au loin, au moyen de l'électricité.

Reiser, en Allemagne, avait proposé de se servir d'autant de fils qu'il y a de lettres dans l'alphabeth, et de transmettre chaque lettre au moyen d'une étincelle partant du fil qui lui correspondait.

Je pourrais citer encore d'autres exemples, non-seulement en France, mais encore dans d'autres États de l'Europe, où des tentatives infructueuses ont été faites pour arriver au même but. Je dois ajouter cependant que l'on ne s'en tint pas à de simples propositions, car le docteur Salva fit, en Espagne, aux frais de l'Infante, des expériences sur une très-grande échelle.

Mais ces tentatives n'eurent aucun succès en raison des difficultés inhérentes au mode même d'expérimentation. En effet, on était obligé d'employer de l'électri-

cité à grande tension et des conducteurs suffisamment isolés, conditions souvent bien difficiles à remplir.

La découverte de la pile, en 1800, engagea quelques physiciens à recommencer des expériences, attendu que son mode d'action permettait d'écarter une partie des difficultés qu'avait présentées l'électricité libre.

Sœmmering, de Munich, publia, en 1812, un travail pour prouver qu'en opérant avec autant de fils qu'il y avait de signaux à transmettre, on pouvait faire parvenir ces derniers, au moyen de la décomposition de l'eau dans un appareil placé sous les yeux de celui qui était destiné à recevoir ces signaux. Cette idée, très-simple et ingénieuse, ne reçut aucune application en raison des difficultés qu'elle présentait.

On ne s'occupa donc plus de télégraphes électriques jusqu'en 1820, où M. OErsted fit sa grande découverte de l'action révolutive exercée par un courant électrique sur l'aiguille aimantée. Ampère fut un des premiers qui proposa, d'après M. de la Place, d'employer l'action électro-magnétique d'autant de circuits qu'il y avait de lettres, sur des aiguilles aimantées. Un grand nombre de physiciens ont cherché depuis à mettre en pratique cette même idée, sans être parvenus à des résultats satisfaisants. Nous ne ferons donc pas mention de leurs tentatives pour arriver au procédé proposé par M. Wheatstone, qui en a déjà fait l'application sur une distance de vingt milles.

M. Wheatstone a commencé ses recherches immédiatement après qu'il eut fait ses belles expériences pour déterminer la vitesse de l'électricité. Je vais tâcher de dire en peu de mots en quoi consiste ce procédé, n'ayant pas par devers moi les documents nécessaires pour entrer dans de grands détails à ce sujet.

Cinq fils conducteurs, agissant sur cinq aiguilles différentes et interposés entre deux stations éloignées, suffisent pour transmettre instantanément les différentes lettres de l'alphabet, au nombre environ de trente par minute. Il est possible même de transmettre deux lettres

à la fois, et de recevoir des communications, en même temps qu'on en donne, sans faire aucun changement à l'appareil.

On ne peut transmettre, bien entendu, toutes les lettres de l'alphabet en se servant de cinq aiguilles, qu'en combinant les mouvements de chacune d'elles, deux à deux, trois à trois, etc.

Je vais montrer maintenant en quoi consiste le mode d'opération. A chaque station éloignée se trouve un observateur, ayant devant lui un appareil muni d'autant de touches qu'il y a de lettres dans l'alphabet. Sur le mur en face de lui se trouve un tableau dans lequel sont inscrites toutes ces lettres. Dès l'instant qu'il met le doigt sur une des touches, le caractère qui y correspond est mis en jeu immédiatement, et la touche correspondante à l'autre station est mise immédiatement en mouvement, en raison de la vitesse excessive de l'électricité. On conçoit très-bien que l'absence de la lumière ou des causes atmosphériques ne peut apporter aucun obstacle à la manifestation des signaux.

Déjà une ligne télégraphique est établie d'après ce système, dans la direction du chemin de fer de Londres à Birmingham, sur une distance de 1 mille et $\frac{1}{2}$. Des expériences ont été faites, en outre, sur des distances qui vont jusqu'à près de 20 milles. M. Wheatstone a tellement prévu tout ce qui peut être nécessaire pour l'emploi de son procédé, que l'appareil est en relation avec une cloche destinée à appeler l'attention de l'observateur quand les signaux vont être transmis. Cette cloche sonne au moyen d'un marteau à détente, qui est relevé subitement par l'action d'un aimant temporaire de fer doux, sur lequel on fait agir le courant électrique. Les appareils employés ont une telle sensibilité qu'on n'a besoin de n'employer la plupart du temps qu'un seul élément d'un décimètre de côté. Quand le temps est très-humide, les dimensions du couple doivent être plus considérables. Depuis les recherches de M. Wheatstone, plusieurs physiciens en ont entrepris sur le même sujet,

mais sans chercher à en faire des applications sur une échelle aussi étendue que M. Wheatstone. Je citerai particulièrement MM. Gauss et Weber.

M. Weber avait établi, en 1833, dans le but de faire des expériences touchant la loi de diminution de la force des courants, en raison des diverses circonstances, un fil métallique entre l'observatoire de Gœttingue et le cabinet de physique; ce fil fut employé aussitôt à transmettre des signaux télégraphiques, non-seulement pour régler journellement les pendules, mais encore pour faire l'essai des signaux combinés, de manière à transmettre des phrases. Les premières expériences à cet égard ont été mentionnées dans les publications scientifiques de Gœttingue, pour 1834, et dans l'Annuaire de Schumacker, pour 1836. Dans ces expériences on se servit d'un courant hydro-électrique, fourni par deux couples fonctionnant avec de l'eau ordinaire. A ce procédé M. Gauss en substitua un autre entièrement différent. Dans le premier, il fallait au moins une minute pour transmettre deux lettres : en n'employant qu'une chaîne simple, il n'était guère possible d'accroître la vitesse; on dût alors faire usage d'une chaîne multiple.

La théorie des lois d'induction a conduit M. Gauss à un procédé d'après lequel, depuis deux ans, une chaîne simple sert avec le succès le plus complet pour transmettre rapidement des mots. Voici en quoi consiste son procédé : le principal appareil est un inducteur composé de 7000 tours d'un fil de cuivre recouvert de soie, de la longueur de 7000 pieds.

En retirant rapidement cet appareil du double barreau magnétique placé dans son intérieur, et le remettant de suite dans sa position précédente, sans le retourner, on obtient dans le fil deux courants successifs dirigés en sens contraire, qui réagissent immédiatement sur l'aiguille aimantée. Les effets ainsi produits ont été combinés de manière à transmettre sept lettres dans une minute.

A la suite des deux actions en sens contraire que reçoit l'aiguille, celle-ci n'étant pas à l'état de repos, il

pourrait se faire qu'après un grand nombre de signaux, elle fût fortement déviée de sa position d'équilibre; dans ce cas, les signaux pourraient perdre de leur précision.

M. Gauss, pour parer à cet inconvénient, a fait usage d'un appareil qu'il appelle *calmeur*, et dont l'effet consiste à détruire, en très-peu de temps, des oscillations qui dureraient quelques heures, et dont les amplitudes décroîtraient très-lentement; les grandes oscillations cessent alors entièrement en peu de minutes.

Ce n'est pas tout encore : un commutateur est disposé pour changer momentanément la direction du courant ou l'interrompre : par ce moyen, on peut transmettre des phrases. M. Gauss, tout en avançant, à la même époque, qu'en employant de forts multiplicateurs et des gros fils, on pourrait faire des communications télégraphiques à des distances de dix, vingt lieues, et même plus, propose d'employer au même usage les rails des chemins de fer.

N'ayant pu me procurer des détails circonstanciés sur la construction des télégraphes électriques indiqués plus haut, j'ai dû me borner à des indications générales.

CHAPITRE VIII.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ ÉLECTRO-CHIMIQUE POUR APPLIQUER LA DORURE SUR L'ARGENT ET LE LAITON.

M. Delarive vient d'enrichir les arts d'un procédé électro-chimique, pour dorer sur argent et sur laiton, dont il a donné la description dans la Bibliothèque universelle de Genève (1). Je suis heureux que cet article ait paru assez à temps pour en donner un précis dans cet ouvrage.

On sait que pour appliquer la dorure sur métaux, on prend ordinairement pour intermédiaire le mercure. Quelquefois on applique l'or en poudre ou en feuille très-mince, par des procédés mécaniques. On se sert aussi de solutions éthérées d'or, quand il s'agit de dorer le fer ou l'acier.

Depuis quelques années on emploie en Angleterre et en Allemagne, et même en France, un autre procédé, dont la description se trouve dans le rapport annuel de M. Berzélius pour 1839, et que je donne *in extenso*.

On a commencé à employer en Angleterre une dissolution d'oxide d'or dans la potasse pour la dorure, au lieu du procédé par l'amalgame de mercure. On est parvenu ainsi à dorer aussi bien, à moins de frais et sans les inconvénients de l'amalgame du mercure pour la

(1) Tome xxv, page 407.

santé des ouvriers. La bonté du procédé a été constatée par Schubert (1), dans l'Institut industriel de Berlin. On dissout l'or dans l'eau régale; on évapore la dissolution au bain-marie, jusqu'à la vaporisation de l'acide superflu. On dissout le chlorure d'or dans cent trente fois son poids d'eau, et l'on y ajoute une quantité de bi-carbonate de potasse égale à sept fois le poids du chlorure d'or. L'argent, le cuivre, le laiton et le fer sont dorés dans un bain bouillant de cette dissolution. On est obligé d'employer avec l'argent le contact d'un fil de fer poli pour le rendre électro-négatif, et faire précipiter l'or à l'état métallique. Le fer qu'on veut dorer doit être recouvert d'abord d'une légère couche de cuivre, au moyen de son immersion dans un mélange de sulfate de cuivre, avec un peu de sel marin. La dorure est assez épaisse pour que la couleur ne soit pas altérée par un mélange de sel marin, de nitre et d'alun, qu'on emploie pour la polissure, quoiqu'elle diminue l'épaisseur de la pellicule d'or. Lorsque la dissolution d'or est trop épuisée pour opérer une bonne dorure, on mêle la liqueur avec de l'alcool qui précipite complétement l'or à l'état métallique par l'ébullition. Ce métal, après son lavage, est employé à former de nouveau un chlorure d'or. On parvient au même but en saturant l'alcali avec de l'acide nitrique, et en précipitant cette dissolution par du sulfate de fer.

Dans ce procédé, quand on veut dorer l'argent, on le rend négatif en le touchant avec un fil de fer. M. Delarive a employé également, pour dorer sur argent et sur laiton, l'action d'un couple voltaïque, mais en suivant une autre méthode que je vais décrire: il place l'objet à dorer, argent ou laiton, dans une dissolution d'or très-étendue, renfermée dans un cylindre de baudruche ou de vessie exempt de trou. Ce cylindre ou sac est introduit dans un bocal de verre rempli d'eau acidulée par quelques gout-

(1) Journal für Praktische Chemie, vol. xi, p. 339.

tes d'acide sulfurique ou nitrique, dans laquelle plonge une lame de zinc, qui a la forme d'un cylindre creux entourant la vessie cylindrique. Ce cylindre est mis en communication, au moyen d'un fil métallique, avec l'objet à dorer, qui devient le pôle négatif de l'élément voltaïque. Cet objet ne doit être mis en contact avec la dissolution d'or, qu'autant que le contact est établi et que le zinc plonge préalablement dans l'eau acidulée. Le courant qui se développe par suite de l'action exercée sur le zinc par l'eau acidulée, suffit pour décomposer la dissolution d'or: l'or se porte sur le métal, qui plonge dans cette dissolution, tandis que le zinc se dissout, sans qu'il y ait mélange des deux solutions, du moins pendant un certain temps.

Ce procédé a été mis avantageusement en usage pour dorer l'argent et le laiton. Jusqu'ici il ne s'applique pas au fer; cependant M. Delarive pense que l'on pourrait dorer ce métal en appliquant préalablement sur la surface un dépôt d'une couche d'argent ou de cuivre, en le plongeant dans une solution de l'un de ces métaux.

Pour réussir, il est essentiel de faire connaître différents détails d'exécution qui sont indispensables. Les premiers objets qui ont été dorés étaient des fils de laiton et d'argent. M. Delarive craignait de ne pas réussir aussi bien sur des objets de formes irrégulières, dont les surfaces présenteraient des points situés à des distances différentes de l'élément électro-positif. Dans ce cas, il pouvait se faire que le courant électrique préférât le trajet le plus court, et portât l'or particulièrement sur les points les plus rapprochés du zinc, et que la dorure ne fût ainsi que partielle. Il n'en fut pas ainsi, comme on peut le concevoir, quand on se rappelle que le courant électrique passe d'autant plus facilement d'un liquide dans un métal, ou d'un métal dans un liquide, que le métal est plus susceptible d'être attaqué chimiquement par le liquide. Dans le cas actuel, l'argent ou le laiton qui plonge dans la dissolution d'or étant plus attaquable

par le liquide que l'or lui-même, il en résulte que tant que la partie immergée ne sera pas entièrement dorée, le courant ira chercher les points où le métal à dorer est encore à nu, pour les traverser et y déposer l'or en les pénétrant, quelle que soit la longueur du trajet qu'il aura à parcourir dans le liquide. L'expérience a confirmé pleinement ces vues théoriques.

Pour établir la communication entre l'objet à dorer, qui se trouve dans la dissolution d'or, et le zinc plongé dans l'eau acidulée, M. Delarive se sert d'un fil fin d'argent ou de platine, qui communique d'une part, par l'intermédiaire d'un gros fil de cuivre, avec le morceau de zinc, et qui est attaché par son autre extrémité à un point de l'objet à dorer. Il est indispensable que le point d'attache soit changé de temps en temps, car s'il restait toujours le même, il ne se dorerait pas. L'eau dans laquelle plonge le zinc doit être très-peu acidulée; il suffit de cinq ou six gouttes d'acide dans un verre d'eau de grandeur ordinaire. Plus le courant est faible, mieux l'opération réussit. Pour dorer l'argent, il vaut mieux employer l'acide sulfurique que l'acide nitrique, parce qu'il ne noircit pas le métal, lorsqu'il passe à travers le diaphragme, au bout d'un certain temps. Pour le cuivre ou le laiton, il est préférable de se servir d'acide nitrique, parce qu'en passant dans la dissolution d'or, il décape la surface à dorer, et que sa réaction sur le zinc donne au courant une plus grande intensité. Il est inutile de donner à ce dernier métal une grande surface; on peut, en le tenant suspendu au moyen d'un support, l'enfoncer plus ou moins, et s'arrêter quand on voit que le courant est assez fort. On juge de la force du courant par la quantité de gaz qui se dégage sur l'objet à dorer. L'opération marche bien quand il s'en dégage le moins possible. Plus le dégagement est fort, moins les arêtes vives et les parties anguleuses se dorent bien; quand cela arrive, il faut dorer de nouveau, en employant des courants excessivement faibles.

M. Delarive conseille d'employer le zinc distillé, de

préférence au zinc du commerce, pour plusieurs raisons : 1° à surface égale il donne un plus fort courant; 2° il n'est pas attaqué par l'acide lorsque le circuit voltaïque est ouvert; 3° quand il passe de l'or dans le liquide où il plonge, on peut le retirer plus facilement. Il faut polir ou décaper la surface à dorer. Dans le premier cas, la dorure s'applique plus facilement : il suffit de la frotter avec un linge fin ou de la peau, pour lui donner tout l'éclat qu'elle peut prendre. Dans le second cas, l'opération est plus longue : la dorure est terne, il faut le brunissoir pour lui donner de l'éclat.

Voici la marche des opérations, telle que l'a indiquée M. Delarive : « J'attache l'objet à dorer au fil métallique, d'argent ou de platine, fixé au zinc; je trempe cet objet un instant dans de l'eau acidulée, pour enlever de sa surface, qui est brunie ou simplement adoucie, toute substance étrangère, toute poussière qui peut y être adhérente. Si l'objet est d'argent, c'est dans de l'eau acidulée avec l'acide sulfurique que je le plonge; s'il est de laiton, c'est dans de l'eau acidulée avec l'acide nitrique. Après ce bain, je plonge l'objet en totalité, ou partiellement, s'il est trop grand, dans la dissolution d'or, je l'y laisse une ou deux minutes, puis je le trempe de nouveau dans l'eau acidulée, et je l'essuie avec un linge fin, en le frottant un peu fortement; je recommence encore une fois la même série d'opérations : bain dans l'eau acidulée, immersion dans la dissolution d'or, second bain dans l'eau acidulée, puis friction avec le linge. Il suffit de répéter deux ou trois fois cette même série d'opérations lorsque la surface à dorer a été bien polie et brunie; il faut la répéter jusqu'à cinq ou six fois quand cette surface a été simplement décapée, sans avoir été polie. Si l'objet à dorer est trop considérable pour être plongé tout entier dans la dissolution d'or, au lieu de plonger constamment la même portion, il vaut mieux alterner entre les deux parties : plonger d'abord l'une, puis l'autre, revenir à la première, ensuite à la seconde, ainsi de suite. De cette manière les dorures des

deux portions se fondent beaucoup mieux l'une avec l'autre, et on n'aperçoit point leurs points de jonction.

« La couleur de la dorure me paraît tenir à plusieurs circonstances : d'abord au titre de l'or dissous; elle est d'autant plus rouge que cet or renferme plus de cuivre; elle est aussi, avec de l'or parfaitement pur, plus rouge sur le laiton que sur l'argent; elle me paraît aussi être plus foncée quand la surface à dorer a été simplement décapée et non polie par le brunissoir avant l'opération, ce qui tient, je pense, à ce que les molécules d'or se déposant sur une surface légèrement raboteuse, et non pas parfaitement unie, elles sont un peu inclinées les unes relativement aux autres, et donnent naissance à un jeu de lumière semblable à celui qui a lieu dans l'intérieur d'un vase doré, c'est-à-dire, à une réflexion de la lumière des molécules d'or, les unes aux autres. Le titre de l'argent influe aussi sur la couleur de la dorure. Enfin, il m'a paru que, dans les mêmes circonstances, plus la dissolution d'or est étendue, moins le dorage est foncé. On peut donc combiner toutes ces circonstances de manière à obtenir, pour la dorure, la nuance qu'on préfère. L'argent blanchi au feu avant l'opération prend une plus belle dorure que celui qui a été simplement bruni.

« Enfin, je dirai que j'ai constamment employé une dissolution d'or aussi neutre que possible, étendue avec de l'eau distillée, de façon qu'il n'y eût que cinq millig. d'or dans un cent. cube de la dissolution. Avec cette dissolution, j'ai remarqué que les premiers dorages étaient beaucoup plus promptement effectués, et en général plus brillants. Quand la dissolution a déjà beaucoup servi, il vaut mieux la concentrer que de l'épuiser jusqu'au bout, d'autant plus qu'elle finit par renfermer passablement d'or qui se précipite à l'état métallique par l'effet prolongé de l'action de la vessie ou de la baudruche, qui agit à la façon des substances animales. J'ai pu dorer dix cuillers à café d'argent avec 160 cent. cub. de la dissolution, qui renfermaient par conséquent

800 millig. d'or; la dissolution était loin d'être épuisée après cette opération, ainsi qu'on pouvait en juger par sa couleur encore jaunâtre, et par de l'or en poudre qui se précipitait. Mais en supposant que la dorure de ces dix cuillers eût pris tout l'or de la dissolution, cela aurait fait 80 millig. d'or par cuiller, et, en portant le prix de l'or fin à 4 francs par gramme, prix le plus élevé, ce serait 32 centimes par cuiller : il faudrait ajouter à ce compte, pour qu'il fût exact, les frais de préparation de la dissolution, qui ne me paraissent pas devoir dépasser 30 à 40 centimes. Du reste, je ne présente pas ce compte avec une parfaite certitude; les praticiens seuls pourront évaluer exactement les frais du procédé que j'indique, quand ils en auront fait usage quelque temps. Ils dépendent aussi de l'épaisseur de la couche, ainsi que cela est facile à comprendre. Les dix cuillers dont j'ai parlé n'avaient qu'une couche très-mince, et étaient d'une nuance jaune vert, qu'on appelle communément couleur de l'or anglais. Le dorage du laiton m'a paru encore moins coûteux que celui de l'argent; il s'effectue beaucoup plus promptement, et il n'est pas nécessaire d'avoir une couche d'or aussi épaisse pour avoir la couleur convenable.

« Il faut aussi ne pas négliger de recueillir l'or qui reste adhérent au linge avec lequel on essuie, chaque fois qu'on a retiré de la dissolution les objets que l'on dore, ainsi que celui qui recouvre les surfaces des vessies ou des baudruches; quand elles ont servi pendant quelque temps aux opérations du dorage, il faut mieux avoir soin de renouveler assez souvent ces baudruches ou ces vessies, et on peut facilement retirer l'or de celles qui ont servi, en les faisant incinérer avec les linges dont on ne fait plus usage. »

Telles sont les instructions que M. Delarive a données pour dorer sur cuivre et argent, à l'aide des forces électriques. L'expérience nous apprendra si ce procédé est plus avantageux que celui qui est maintenant en

usage en Angleterre et en Allemagne; mais quelle que soit la destinée de ce procédé, on ne peut s'empêcher de reconnaître qu'il présente de grands avantages, et que son célèbre auteur, qui possède de profondes connaissances en électro-chimie, l'a porté de suite à sa perfection.

CHAPITRE IX.

DE LA THÉORIE ÉLECTRO-CHIMIQUE.

En terminant le traité de l'électricité, je crois devoir présenter au lecteur un résumé général de la théorie électro-chimique, telle qu'on doit la considérer dans l'état actuel de nos connaissances, en l'appuyant sur des faits les plus positifs, et dont plusieurs n'ont pas été exposés dans cet ouvrage. Ce tableau lui donnera en même temps une idée exacte de la manière dont on doit l'envisager dans ses rapports avec les théories chimiques.

§ Ier. *Exposé des phénomènes généraux.*

Il est bien difficile de jeter les bases d'une théorie électro-chimique, sans prendre en considération les effets électriques divers qui accompagnent tous les phénomènes chimiques. C'est la seule marche à suivre, si l'on veut arriver à la découverte des rapports qui lient les affinités aux forces électriques. Il faut avoir égard aussi aux effets chimiques produits quand un courant voltaïque traverse une dissolution quelconque. La décomposition qui a lieu alors en deux parties antagonistes, dont l'une joue le rôle d'acide et l'autre le rôle d'alcali, justifie la théorie du duellisme adoptée par Lavoisier et ses successeurs. Avant d'exposer de quelle manière on doit envisager aujourd'hui la théorie électro-chimique, c'est-à-dire, la théorie qui rattache les phénomènes chi-

miques aux propriétés électriques des corps, je dois commencer par rappeler quelques phénomènes généraux qui sont indispensables pour l'intelligence du sujet.

Voici comment a été posée, dans le principe, la question électro-chimique. L'action des particules hétérogènes les unes sur les autres, et la permanence de leur union dans les combinaisons, ainsi que l'action exercée par les molécules similaires les unes sur les autres dans l'agrégation, sont-elles dues à des forces électriques ou à des forces dont la nature nous est inconnue?

Telle est la grande question qui a occupé depuis quarante ans et qui occupe encore les physiciens et les chimistes. On a comparé d'abord les atomes à de petites piles électriques, analogues aux tourmalines, ayant par conséquent une polarité électrique dont la chaleur exalte les propriétés. On a dit ensuite que ces mêmes atomes possédaient une électricité propre, inhérente à leur nature, et qu'ils étaient entourés de toutes parts, quand ils n'étaient pas en combinaison, d'atmosphères électriques de nature contraire à la leur. Dans le premier cas, on supposait que les atomes avaient deux pôles; que chaque pôle n'avait pas la même intensité; et, dans le second, qu'ils ne jouissaient pas de la polarité électrique.

Cette polarité, outre les raisons que j'indiquerai plus loin, est assez difficile à admettre, car on ne voit pas, par exemple, comment 3, 4 ou 5 atomes d'oxigène pourraient se grouper symétriquement autour d'un atome d'un radical ou d'une base doués également d'une polarité électrique, de manière à produire une figure régulière, comme celle que nous présentent les cristallisations salines.

Pour arriver à connaître l'état électrique des molécules dans les combinaisons, voyons ce qui a lieu quand on clive un cristal d'une substance quelconque, rangée dans la classe des corps mauvais conducteurs: chaque face séparée emporte alors avec elle un excès d'électricité contraire; ce fait montre que la destruction de l'attraction moléculaire donne lieu à des effets électriques qui souvent sont accompagnés de lumière. D'un côté,

nous sommes portés à croire que le dégagement de l'électricité dans le frottement provient d'un dérangement dans la position naturelle des molécules, soit par l'ébranlement qui a lieu, soit par l'effet de la force attractive qui se manifeste entre les particules des substances frottées. Les particules qui ont le plus de flexibilité, et qui perdent le plus facilement leur position d'équilibre, sont précisément celles qui prennent de préférence l'électricité négative. D'un autre côté, si un corps est soumis à l'action par influence d'un autre corps électrisé, une partie de son électricité naturelle est décomposée; les deux fluides contraires dont elle est formée occupent sur sa surface deux parties opposées. La tension de ces deux électricités est d'autant plus forte, que le corps en présence duquel il se trouve, est plus fortement électrisé; dans les mêmes circonstances, les affinités sont affaiblies, et d'autant plus que la force agissante est plus considérable; il peut même arriver que cette force ait assez d'énergie pour vaincre les affinités. D'après cela, on ne peut douter qu'il n'existe des rapports intimes entre les affinités et les forces électriques, rapports qui doivent servir de base à une théorie électro-chimique. Quels que soient ces rapports, pour l'instant on peut toujours conclure des faits généraux dont je viens de parler, que les deux électricités existent, dans les interstices moléculaires des corps, à l'état d'électricité naturelle, et qu'elles en sont expulsées par des actions mécaniques, en même temps que le calorique qui s'y trouve également.

D'autres faits dont il sera question ci-après, démontrent encore l'existence d'une quantité énorme d'électricité dans les espaces moléculaires où s'opèrent les phénomènes les plus mystérieux de la nature, et qui est tellement identifiée avec les forces qui unissent les molécules entre elles, que l'on détruit l'action de ces forces quand on enlève toute cette électricité. Si donc elle ne constitue pas les affinités et la force d'agrégation, elle est du moins indispensable à leur existence.

Voyons maintenant quels sont les rapports qui existent

entre l'électricité et la chaleur, afin d'avoir un nouveau lien entre les affinités et les forces électriques ; car nous savons que les phénomènes de chaleur, comme les phénomènes électriques, se rattachent aux actions chimiques.

Toutes les fois que la chaleur se propage dans un circuit métallique fermé, si elle rencontre sur son passage un obstacle quelconque qui arrête sa marche, là où est l'obstacle il y a séparation des deux électricités : l'électricité positive le franchit ordinairement. Quelques expériences prouvent, du reste, que cette espèce d'électricité jouit de la propriété de franchir plus facilement les milieux résistants que l'autre électricité. Réciproquement, quand le fluide électrique circule dans un corps, si sa vitesse est diminuée en un point quelconque, et que sa circulation par conséquent ne soit pas libre, il y a dégagement de chaleur au point même où se trouve l'obstacle. Il n'y a encore qu'une seule exception à cette règle générale, et elle est relative aux métaux qui cristallisent facilement. Je veux parler de l'observation faite par M. Peltier dans un circuit de bismuth et d'antimoine.

D'un autre côté, la chaleur, dilatant les molécules des corps, doit produire des effets analogues à ceux que l'on observe dans le clivage, c'est-à-dire qu'en écartant les molécules, celles-ci éprouvent un commencement de clivage, qui met en liberté une certaine portion des deux électricités associées aux molécules, lesquelles électricités se recombinent immédiatement, et quelquefois avec dégagement de lumière, d'où résulte la phosphorescence. L'abaissement de température doit produire des effets électriques analogues, mais inverses. Ces effets ne peuvent être observés que dans des cas très-restreints, attendu que la recomposition est souvent immédiate, comme dans le cas où l'on clive des corps bons conducteurs. Il en est de même quand on broie des corps cristallisés mauvais conducteurs ; les lamelles qui se séparent, possédant des électricités contraires, et se trouvant en contact, la recomposition s'effectue sur-le-champ. D'un autre côté, dans quelques substances régulièrement

cristallisées, comme la tourmaline, la topaze et autres, dont la conductibilité, le groupement moléculaire et les propriétés électriques, les assimilant, jusqu'à un certain point, aux piles électriques formées de lames de verre, les deux électricités dégagées peuvent se mouvoir avec assez de liberté, pour que chacune d'elles occupe une des moitiés du cristal.

La présence de l'électricité libre dans ces cristaux, n'a lieu qu'autant que la température est ascendante ou descendante, car dès l'instant qu'elle est stationnaire, tous les signes d'électricité disparaissent. L'effet produit est donc le résultat de la dilatation et de la contraction, effet dont il a été question précédemment. Dès lors, il est impossible de comparer les propriétés électriques des atomes à celles d'une tourmaline, puisque, dans cette dernière, l'état électrique n'est qu'un état transitoire. Si cette comparaison était exacte, il s'ensuivrait que les atomes se trouveraient, pour ainsi dire, dans un état inerte, toutes les fois que leur température serait stationnaire; ce qui est contraire aux faits.

Continuons à exposer les rapports entre l'électricité et la chaleur, dont nous allons tirer des conséquences importantes pour la théorie électro-chimique.

L'expérience nous apprend que la chaleur paraît se propager dans les corps, par une suite de décompositions et de recompositions du fluide électrique, qui s'opèrent de telle manière, que la particule la première échauffée prend au foyer de chaleur l'électricité positive, et repousse la négative dans la particule contiguë, laquelle, s'échauffant à son tour, s'empare de l'électricité positive et chasse la négative dans la particule suivante; ainsi de suite.

La chaleur se propage dans les corps d'une manière analogue, c'est-à-dire, par un rayonnement d'une particule à l'autre, abstraction faite de toute hypothèse sur sa nature. On est donc porté à admettre que ces rayonnements s'effectuent par des décompositions et recom-

positions du fluide électrique, dont on ne retrouve des traces que dans quelques cas particuliers.

Les phénomènes thermo-électriques, produits dans les circuits fermés, composés de deux métaux différents, nous révèlent aussi des rapports importants entre la chaleur et l'électricité, rapports qui établissent entre ces deux agents une dépendance mutuelle, ne tendant rien moins qu'à nous les montrer comme dérivant du même principe. En effet, dans un circuit fermé, formé de deux métaux différents, soudés bout à bout, quand la température est la même à chacune des deux soudures, on n'observe aucun dérangement dans l'équilibre des forces électriques ; mais dès l'instant qu'il existe entre elles une différence de température, la plus petite possible, il se produit un courant électrique dont la direction et l'intensité se rattachent aux propriétés physiques et chimiques des métaux, car cette direction et cette intensité paraissent dépendre de la conductibilité des métaux et de leur capacité pour la chaleur, ceux qui ont le plus de chaleur spécifique prenant, en général, l'électricité positive. Voici comment on peut concevoir cette circulation du fluide électrique : lorsque le foyer de chaleur est appliqué à l'une des deux soudures des deux métaux, la chaleur ne se propage pas également dans chacun d'eux; il doit donc en résulter des effets électriques différents, qui donnent naissance au courant. Cette différence dans les effets électriques ne provient pas seulement, je le répète, de la conductibilité calorifique, mais encore de la chaleur spécifique, qui n'est pas la même dans chaque métal. On conçoit, d'après cela, combien le phénomène doit être complexe.

Tout semble donc prouver, comme on le supposait jadis, que la chaleur est formée de la réunion des deux électricités ; mais ce n'est encore là qu'une hypothèse, qui rend assez bien compte des faits observés jusqu'ici. En partant de cette hypothèse, on conçoit comment il se fait que les corps s'échauffent quand on les frappe à coups redoublés, ou qu'on les frotte

les uns contre les autres : en ébranlant leurs particules, on met à chaque instant en liberté une portion considérable des deux électricités dont la recomposition produit de la chaleur. Si les corps sont bons conducteurs de l'électricité, et, par suite, de la chaleur (car il y a une presque identité entre ces deux propriétés), cette recomposition est immédiate, et l'on n'observe aucun effet électrique de tension ; tandis que lorsque les corps sont mauvais conducteurs, la neutralisation des deux électricités n'étant pas instantanée, il reste toujours sur les surfaces ébranlées une certaine quantité d'électricité libre, que nous pouvons observer avec nos appareils, et qui est dépendante de l'état des surfaces.

Voyons actuellement comment les phénomènes chimiques peuvent nous révéler la présence de l'électricité autour des atomes, ou qui leur est associée, électricité qui va nous servir à montrer les rapports intimes existant entre les affinités et les forces électriques.

Quand un acide se combine avec un alcali, le premier met en liberté de l'électricité positive, le second, de l'électricité négative. Ces deux électricités, en se recombinant immédiatement dans la liqueur, forment du fluide neutre, et produisent autant de courants partiels qu'il y a de particules agissantes. Or, cette multitude de petits courants doit déterminer la production d'une quantité de chaleur dépendante de l'énergie avec laquelle s'exercent les affinités, et de la conductibilité électrique du liquide.

Dans les décompositions, les effets électriques sont inverses, c'est-à-dire, que l'acide prend l'électricité négative, et l'alcali l'électricité positive; de là, on peut conclure, comme je l'ai déjà fait pour la force d'agrégation, que si l'électricité ne constitue pas les affinités, elle est du moins indispensable à leur manifestation, puisqu'elle se montre constamment soumise aux mêmes lois, toutes les fois que les atomes simples ou composés s'unissent ou se séparent.

Les acides, ai-je dit, en s'unissant aux alcalis, laissent échapper de l'électricité positive, et les alcalis de l'électricité négative. Ces corps se comportent donc conformément aux idées de M. Ampère, les uns comme des corps éminemment négatifs, entourés d'électricité positive dont ils se débarrassent dans les combinaisons, pour la reprendre aux corps environnants, dans les décompositions, d'où résultent des effets électriques contraires; les autres, comme des corps éminemment électro-positifs, entourés d'atmosphères d'électricité négative, dont ils se débarrassent également, comme les premiers, lorsqu'ils entrent en combinaison. Quoique cette hypothèse puisse servir à expliquer ces deux classes de faits, il ne faut pas aller au delà, et s'appuyer dessus pour interpréter la permanence du contact des atomes dans les combinaisons; on ne doit la considérer que comme une conception ingénieuse qui aide à l'explication des faits, dans quelques cas, et ne doit pas être prise d'une manière aussi absolue que l'a fait M. Ampère; en effet, de nombreuses expériences prouvent que l'énergie de l'action décomposante de la pile est en rapport direct avec l'affinité chimique des substances sur lesquelles elle agit, et qu'une substance ne peut être transportée ou passer d'un pôle à un autre, qu'autant qu'elle est en rapport avec quelque autre élément ayant une tendance à passer dans une direction opposée. Ce fait nous montre d'abord que l'état électrique des atomes dans les composés, loin d'être inhérent à ces mêmes atomes, dépend uniquement des affinités et de la manière dont elles s'exercent. C'est ainsi que l'expérience nous montre que le même corps, sous le rapport des effets électriques observés, peut jouer le rôle d'élément positif dans une combinaison, et celui d'élément négatif dans une autre. Le soufre, à l'égard de ses combinaisons avec l'oxigène et les métaux, en est un exemple.

Quoique la base fondamentale de la théorie de M. Ampère ne puisse être admise (je veux parler de l'état électrique permanent des atomes), cependant on

ne peut se dispenser d'adopter quelques-unes des vues sur lesquelles elle repose. En effet, on a vu que lorsqu'un acide se combine avec un alcali, les particules acides dégagent de l'électricité positive, et les particules alcalines de l'électricité négative, tandis que le contraire a lieu dans les décompositions. Les phénomènes se passent donc comme si les particules acides (que l'on doit considérer comme négatives, puisqu'elles se rendent dans les décompositions électro-chimiques au pôle positif), comme si, dis-je, elles étaient entourées d'atmosphères d'électricité positive. Par une raison semblable, les particules alcalines peuvent être considérées comme positives et entourées d'atmosphères d'électricité négative; ainsi, en introduisant les atmosphères dans la science, cette hypothèse peut servir à rendre compte des effets produits. Néanmoins, il ne faut pas perdre de vue que chaque corps joue le rôle d'élément positif ou d'élément négatif, suivant la nature de l'action chimique que ce corps exerce dans sa combinaison avec un autre. J'ajouterai encore, que lorsque la combinaison est effectuée, l'équilibre des forces électriques est rétabli; ce qui indique que les effets électriques sont le résultat d'un état de mouvement; aussi, en général, n'en trouve-t-on jamais quand les molécules sont en repos.

D'après les considérations précédentes, l'électricité produite dans les actions chimiques n'est donc qu'un effet résultant de l'action des affinités, effet qui reparaît, mais en sens contraire, dans les décompositions, et qui annonce en même temps un état électrique moléculaire, indispensable à la permanence de l'union des particules dans les composés, puisque, en faisant disparaître cet état, on détruit les combinaisons. Si l'on avait un moyen exact de mesurer l'intensité de l'électricité associée aux molécules, on pourrait comparer ensemble les affinités chimiques des corps, puisque la relation est telle, entre les forces électriques et les affinités, que lorsque l'on affaiblit l'action des premières, on diminue dans le même rapport l'action des secondes, et qu'en

anéantissant les unes, on détruit les autres. Il existe donc entre elles un rapport tel, que l'une ne peut exister sans l'autre ; cette question est résolue aujourd'hui, du moins en partie, comme on le verra plus loin.

Je ferai encore remarquer que si les particules des corps acides ou alcalins étaient éminemment négatives ou positives, il s'ensuivrait que lorsque la solution d'un acide ou d'un alcali dans l'eau est soumise à l'action voltaïque, l'acide ou l'alcali, quoique uni au liquide par de faibles affinités, devrait obéir à l'action du courant : il n'en est rien, comme on l'a vu plus haut, attendu que le courant n'exerce son action que sur les composés, dont l'état électrique neutre, si je puis m'exprimer ainsi, des particules hétérogènes est dépendant de l'action chimique qu'elles exercent les unes sur les autres, sans que l'on puisse savoir d'où provient cette dépendance. Les remarques précédentes ne sont donc nullement favorables à l'état électrique permanent des atomes.

Parlons maintenant des effets électriques de contact, qui ont servi de base à Davy pour l'établissement de la théorie électro-chimique. Tous les faits observés jusqu'ici, montrent qu'il n'y a dégagement d'électricité dans le contact de deux corps, que lorsque les affinités de ces corps sont mises en jeu, ou lorsque des agents extérieurs réagissent sur l'un d'eux, ou bien, quand il y a entre eux différence de température, ou qu'on les frotte l'un contre l'autre. Les personnes qui ont fait une étude approfondie des phénomènes électro-chimiques, ont reconnu qu'il n'y a en général d'effets électriques produits dans le contact, que lorsque les molécules des corps ont perdu leur position naturelle d'équilibre par une cause quelconque, soit physique, soit chimique. Quiconque soutient une opinion opposée, n'a pas tenu compte dans ses expériences d'une des circonstances que je viens d'indiquer. Ce qu'il ne faut pas perdre de vue, c'est qu'un effet électrique est en général le résultat d'un mouvement moléculaire. Quelques faits, à la vérité, et que j'ai signalés

dans mon ouvrage (1), tels que l'état électrique du platine dans son contact avec l'or, et les effets particuliers de courant produits quand on plonge ces deux métaux dans l'eau distillée, n'ont encore pu être rattachés directement au principe général que je viens d'indiquer; mais tout porte à croire qu'un nouvel examen les y rattachera complétement.

Il peut très-bien se faire aussi que lorsque deux corps sont en contact, les affinités commencent à exercer leur action avant qu'il y ait combinaison; de là résulteraient des effets électriques qui seraient si faibles, que nos appareils ne pourraient les accuser que difficilement.

Lorsque l'on veut jeter les bases d'une théorie électrochimique, il ne faut pas se borner non plus à prendre en considération les effets électriques produits dans les phénomènes de décomposition et de recomposition chimiques, il est encore nécessaire d'avoir égard aux décompositions opérées avec la pile. Mais, avant de parler de ces dernières, je vais présenter quelques considérations sur les causes dont elles peuvent dépendre.

Je rappellerai d'abord que l'on peut supposer que les particules hétérogènes, dans les composés, sont positives ou négatives, et environnées d'atmosphères d'électricité, dont la nature dépend du rôle que joue chacune d'elles dans le composé, et que ces atmosphères se neutralisent par leur action réciproque; l'électricité de chaque particule et son atmosphère constituent donc son état électrique naturel. L'existence de ces atmosphères, comme on le voit, peut être admise sans avoir égard à l'état électrique permanent des atomes. Je n'entreprends point d'expliquer comment elles existent, je me borne à dire que les choses se passent comme si elles existaient.

En admettant donc que les particules acides qui sont négatives soient environnées d'atmosphères d'électricité positive, et les particules alcalines d'atmosphères d'élec-

(1) Tom. II.

tricité négative, dont l'action neutralise celle des précédentes atmosphères, il faut supposer en outre que cette neutralisation se maintient tant que dure le contact ou plutôt l'union des particules. Mais les particules viennent-elles à se séparer, ces atmosphères redeviennent momentanément libres et reforment du fluide neutre. L'existence de ces atmosphères se lie donc intimement à la permanence de la combinaison; l'une ne saurait aller sans l'autre. D'un autre côté, je ferai remarquer que les expériences de Nobili, sur les apparences électro-chimiques, nous apprennent que ces apparences se refoulent, comme si les anneaux dont elles sont formées étaient forcés de reculer les uns sur les autres; or, comme les parties successives d'un même courant se repoussent, on est conduit à admettre, comme un fait démontré, que les éléments des corps, quand ils sont transportés par un courant, sont en quelque sorte combinés avec ce courant, dont ils partagent toutes les propriétés physiques; mais, je le répète encore, cette combinaison de l'électricité avec les particules est passagère; elle constitue, pour ainsi dire, leur état naissant: comme lui, elle facilite et détermine même leur combinaison avec d'autres particules. On ne peut supposer et concevoir cet état électrique passager, cet état naissant, qu'en supposant qu'à l'instant où une particule sort d'une combinaison, elle éprouve un mouvement de vibration que nous ne pouvons définir, et qui est la cause des effets électriques constituant cet état naissant. Ce qu'il y a de certain, et ce qui tend en même temps à prouver que l'état naissant coïncide avec un état électrique particulier, c'est que l'on peut le donner à des molécules, et par conséquent faciliter leur combinaison avec d'autres particules, en les mettant dans un état électrique convenable. C'est en s'appuyant sur ce principe que l'on parvient à produire un grand nombre de composés analogues, pour la plupart, à ceux que l'on trouve dans la terre.

Considérons maintenant le courant électrique dans sa

constitution, pour bien nous rendre compte de ses effets sur les parties matérielles des corps.

L'électricité positive en mouvement forme-t-elle un courant dirigé dans un sens, et l'électricité négative un courant dirigé en sens inverse, de telle sorte que le courant soit composé de deux courants partiels, dont l'un prendrait les éléments positifs et l'autre les éléments négatifs, pour les transporter à leur pôle respectif? L'existence de ces deux courants n'a pu être constatée, car il a été impossible jusqu'ici d'en opérer la séparation; nous savons seulement que l'électricité positive traverse plus facilement les milieux résistants que l'électricité négative, et que le courant total est tellement constitué, que l'on retrouve dans sa direction et dans le sens opposé les propriétés qui caractérisent chacune des deux électricités, et en vertu desquelles les corps peuvent être considérés comme composés de deux parties antagonistes, l'une jouant le rôle d'acide, l'autre celui d'alcali. Ce principe qui a été introduit dans la chimie par Lavoisier, a servi de base à la théorie électro-chimique conçue par Davy, laquelle admet que toute combinaison est formée de la réunion de deux éléments, possédant chacun un état électrique différent à l'instant de leur combinaison. Cette théorie, qui a rendu de si grands services à la chimie, a été développée, agrandie par M. Berzélius, auquel on doit la classification des corps en électro-positifs et en électro-négatifs. Vint ensuite la théorie de M. Ampère, dont j'ai parlé précédemment, et qui attribue la permanence du contact des particules dans les combinaisons, à l'action mutuelle des électricités propres à ces mêmes particules.

La décomposition électro-chimique est favorable, en effet, à la théorie de M. Berzélius. L'expérience prouve que toutes les fois qu'un courant voltaïque, d'une énergie suffisante, traverse de l'eau tenant en dissolution un sel, ce courant opère la séparation des parties constituantes, non-seulement de l'eau, mais encore du sel; ces parties peuvent être partagées, comme je viens de le dire,

en deux groupes parfaitement distincts, l'un renfermant les éléments acides ou électro-négatifs, et l'autre les éléments alcalins ou électro-positifs.

Le duélisme, autrement dit, le mode de combinaison par antagonisme, est aujourd'hui mis en question par les chimistes. Sans entrer dans le fond de la discussion qui s'est élevée à cet égard, je ferai remarquer que si ce mode de combinaison n'existe pas, comment se fait-il que les décompositions électro-chimiques de différents composés organiques présentent toujours cette particularité de s'effectuer en deux parties distinctes, jouissant de propriétés opposées, et qui, réunies par l'effet des affinités ou des forces électriques, quand il n'y a pas eu formation de produits secondaires, reproduisent ces mêmes composés? Cette propriété ne porte-t-elle pas avec elle le caractère d'un partage en deux éléments antagonistes, tel qu'on l'a considéré jusqu'ici? A la vérité, les composés organiques se prêtent difficilement à ce mode de décomposition, attendu que la plupart ne se laissent point traverser par le courant, et que ceux qui lui livrent passage donnent naissance à des produits secondaires, qui ne permettent pas toujours de reconnaître les effets directs de l'action décomposante du courant. Cependant je puis citer trois exemples intéressants, qui ont cet avantage de se rapporter à des corps dont la composition exerce depuis longtemps la sagacité des chimistes: je veux parler de l'alcool et des éthers qui ont été l'objet de recherches curieuses de la part de M. Connell; et comme les résultats auxquels il est parvenu cadrent parfaitement avec les idées que la théorie électro-chimique a introduites dans la science, j'éprouve une certaine satisfaction à les rappeler ici avec des détails suffisants pour en faire ressortir toute l'importance.

Voici les principaux faits que M. Connell a observés, en soumettant l'alcool à l'action d'un courant voltaïque:

1° L'alcool laisse dégager de l'hydrogène au pôle négatif, et aucun gaz au pôle positif;

2° Si l'alcool tient en dissolution une très-petite quantité de potasse, l'action décomposante est très-favorisée;

3° En opérant dans des vases de métal, il y a dégagement de gaz au pôle positif;

4° La quantité d'hydrogène obtenue est la même que celle que l'on recueille avec l'eau d'un voltaïmètre soumis à l'action du même courant;

5° Outre le gaz dégagé, il se forme dans le liquide plusieurs produits résultant de l'oxidation de l'alcool, et particulièrement de l'acide carbonique, que l'on trouve en combinaison avec la potasse;

6° Lorsque l'on soumet à l'expérience de l'alcool pur, il faut employer une pile d'une grande énergie, composée de 2 à 300 éléments, et se servir, pour électrodes, de lames de platine. Lorsque les lames, dans une expérience, se trouvaient à une distance de $\frac{1}{10}$ de pouce, il y avait un dégagement abondant de gaz au pôle négatif, et rien au pôle positif; l'action était si vive, que la température s'élevait jusqu'à l'ébullition du liquide : l'alcool avait acquis une odeur d'éther : en y ajoutant un peu d'eau, il se précipitait une matière résineuse jaunâtre.

Ces résultats, qui annoncent des effets complexes, montrent bien que l'eau contenue dans l'alcool est le sujet immédiat de l'action voltaïque ; que l'hydrogène de cette eau se dégage au pôle négatif; et que son oxigène donne naissance, par une action secondaire, à des produits qui se dissolvent dans le liquide ou se précipitent.

On tire de là la conséquence que l'alcool absolu doit contenir nécessairement de l'eau comme principe constituant, et que, dès lors, l'alcool est formé d'eau et d'un autre principe (l'éther sulfurique), qui n'est pas décomposé par le courant, et dont l'odeur accuse la présence lors de sa séparation ; de même que lorsque l'on soumet à l'action voltaïque un nitrate alcalin, l'alcali est transporté au pôle négatif, sans être lui-même décomposé, tandis que l'acide peut éprouver l'action décomposante du courant.

Les résultats que je viens de rapporter sont encore

les mêmes quand on soumet l'esprit pyroligneux à l'action voltaïque; la seule différence qu'il y ait, c'est qu'il faut employer des courants moins puissants pour obtenir les mêmes résultats; circonstance due, probablement, à la quantité absolue plus grande d'eau, quoique dans une proportion atomique qui est la même dans un poids donné du premier de ces liquides.

M. Connell a pu conclure de ces expériences, que l'esprit pyroligneux peut être considéré comme un hydrate d'éther pyroligneux, de même que l'alcool est regardé comme un hydrate d'éther sulfurique.

On voit, d'après cela, que les résultats de la décomposition électro-chimique viennent en aide à la théorie du duélisme, c'est-à-dire, des antagonistes.

Voyons maintenant les résultats que l'on obtient dans l'action des courants sur les solutions alcooliques, afin de trouver de nouvelles lumières propres à nous éclairer.

Quand on soumet à l'action d'un courant de l'alcool renfermant une forte quantité de potasse, le liquide prend peu à peu une couleur foncée, et il se dépose sur la lame positive du carbonate de potasse; si, au bout de vingt-quatre heures, on évapore jusqu'à siccité, et que l'on dissolve le résidu dans l'eau, puis qu'on le sature avec de l'acide hydrochlorique, il se forme un précipité de matière résineuse.

M. Döbereiner avait trouvé que le platine, dans un grand état de division, détermine l'alcool à absorber assez rapidement de l'oxigène qui se combine avec une portion de son hydrogène. M. de Scheebein avait pensé qu'il était probable que l'oxigène qui se dégage sous l'influence du courant voltaïque, et qui est à l'état naissant, pourrait agir chimiquement sur les liquides hydrogénés, tels que l'alcool, au lieu de se dégager à l'état gazeux. Ses prévisions ont été réalisées: il a trouvé qu'il se formait alors, suivant toute apparence, de l'éther oxigéné de Döbereiner.

L'éther rectifié, soumis au même mode d'expérimen-

tation que l'alcool, n'a donné que des résultats négatifs, même en dissolvant dedans du sublimé ou du chlorure de platine.

L'action exercée par un courant électrique sur l'alcool, tend donc à nous démontrer, comme je l'ai dit, que ce liquide est réellement composé d'éther et d'eau, qui, seule, éprouve une action secondaire.

Les vues de M. Faraday touchant la doctrine électrochimique viennent encore à l'appui de cette théorie; en effet, un grand nombre de faits nous montrent que les forces qui constituent les affinités ont des rapports intimes avec les pouvoirs électriques qui se manifestent à l'instant où ils s'exercent. C'est à la recherche de ces rapports que nous devons nous attacher, si nous voulons connaître quelque chose sur les affinités. Ce qui tend encore à établir une relation intime entre ces deux espèces de forces, c'est que l'action chimique de l'électricité est définie comme les pouvoirs chimiques.

Dans des recherches que j'ai déjà eu l'occasion de mentionner dans le 3e vol., M. Faraday a trouvé que la quantité d'électricité associée aux atomes est énorme, et capable d'effrayer l'imagination. Il faudrait, en effet, employer 800,000 charges d'une batterie électrique, composée de huit jarres égales, ayant chacune 8 pouces de hauteur et 23 pouces de circonférence, et chargées avec 30 tours d'un plateau d'une puissante machine électrique, pour décomposer une simple molécule d'eau, c'est-à-dire, pour égaler la quantité d'électricité qui paraît être associée aux éléments de cette molécule, et qui constitue leur mutuelle affinité chimique.

Il résulte, en outre, des expériences faites dans le but de montrer la haute condition électrique des molécules de la matière, et l'identité de leur quantité d'électricité avec celle qui est nécessaire pour leur séparation, que l'action chimique exercée sur un équivalent de zinc, dans un simple cercle voltaïque, est capable de développer une quantité d'électricité suffisante, sous forme de courant, à travers de l'eau acidulée, pour décomposer un équi-

valent de cette substance. Ces résultats prouvent évidemment que la quantité d'électricité qui est associée aux particules de la matière, et qui leur donne le pouvoir de se combiner, est capable, lorsqu'elle est sous forme de courant, de séparer ces particules de leur état de combinaison, c'est-à-dire, que l'électricité qui décompose et celle qui est produite par la décomposition d'un certain volume de matière, sont égales.

D'après l'accord qui règne entre la théorie des proportions définies et celle de l'affinité électro-chimique, on ne peut s'empêcher de considérer les parties équivalentes des corps comme des volumes de ces corps qui contiennent d'égales quantités d'électricité, ou qui ont des pouvoirs électriques égaux. Ainsi, les atomes des corps qui sont équivalents l'un à l'autre dans les actions chimiques, possèdent des quantités égales d'électricité. On doit entendre par *quantités égales d'électricité,* des quantités égales d'électricité naturelle, et non pas de telle ou telle espèce d'électricité. En posant ainsi la question, un élément ne doit pas être considéré comme électro-positif ou électro-négatif, pris isolément, puisqu'il possède les deux électricités; il devient seulement apte à devenir électro-positif ou électro-négatif, dans sa combinaison avec un autre élément, suivant ses rapports chimiques avec lui.

Cette manière de voir ne doit pas être considérée comme une simple hypothèse, mais bien comme une représentation exacte des faits.

Parlons de l'intensité du courant nécessaire pour opérer la décomposition électro-chimique.

M. Faraday, qui, le premier, s'est occupé de ces recherches, en voulant s'assurer si un courant pouvait passer à travers un électrolite sans le décomposer, a été conduit à la conclusion suivante :

« Il paraît que lorsqu'un courant voltaïque est pro-
« duit, et qu'il possède une certaine intensité dépen-
« dante de la force des affinités chimiques, ce courant
« peut décomposer un électrolite particulier, sans avoir

« égard à la quantité d'électricité qui passe, l'intensité « décidant si l'électrolite lui donnera passage ou non. »

Relativement à l'intensité du courant, M. Faraday regarde comme évident, en raison de l'action définie de l'électricité, que la quantité d'électricité ne peut s'augmenter, quand la quantité de métal oxidé est dissoute, là où a lieu l'action chimique. Par exemple, une paire de plaques, zinc et platine, donne autant d'électricité, sous forme de courant, par l'oxidation d'une certaine quantité de zinc, qu'en donnerait l'altération de mille fois cette quantité à la surface de mille plaques, dans une pile voltaïque.

Pour le prouver, M. Faraday a disposé en forme de batterie dix plaques de zinc amalgamé et de platine, en employant pour liquide actif de l'acide sulfurique étendu. Le circuit ayant été fermé, il recueillit l'hydrogène dégagé à la surface de chaque plaque de métal, et trouva que la quantité produite sur chacune d'elles était en proportion avec la quantité de métal dissoute de chaque plaque de zinc, et la même que celle qu'il avait obtenue avec une seule paire. Il en a conclu qu'il est passé autant d'électricité à travers une série de dix plaques que dans une seule, quoique la quantité de zinc dissoute ait été dix fois plus considérable.

La quantité d'électricité n'augmentant pas quand on accroît le nombre des couples, il s'agit d'expliquer l'accroissement de l'intensité du courant dans les mêmes circonstances. M. Faraday reconnaît dans ce cas, comme tout le monde l'a admis depuis longtemps, que le degré d'intensité du courant développé par le premier élément, augmente dès l'instant que ce courant est soumis à l'action du courant du second élément agissant de concert avec le premier, parce que les deux actions s'ajoutent.

D'un autre côté, les décompositions étant simplement des actions opposées, qui sont exactement du même ordre que celles qui engendrent le courant, il en résulte que l'affinité qui résiste à la force d'une action décomposante, doit céder à l'énergie de plusieurs actions dé-

composantes qui s'ajoutent. Les considérations suivantes éclairciront ce point.

Dans sa manière de voir, M. Faraday considère que les décompositions électro-chimiques ne dépendent d'aucune répulsion ou attraction directe des pôles ou lames métalliques, en communication avec les appareils électriques et les dissolutions, ni des éléments en contact avec ces lames ou près d'elles. Il se fonde à cet égard sur ce fait, que dans les décompositions faites dans l'air, les éléments séparés ne se rendent vers aucun pôle, mais sont chassés aux extrémités de la substance soumise à l'action de l'électricité.

Cependant, dans ce cas, on peut dire que l'air remplace une des lames; d'un autre côté, M. Faraday a prouvé que l'on peut aussi bien décomposer un corps sur une surface d'eau que dans l'air. Cette expérience prouve simplement que le corps transporté par le courant s'est arrêté sur la surface de l'eau, parce qu'il n'a pas trouvé dans ce liquide les éléments nécessaires pour former une combinaison soluble. Les nombreuses expériences qu'il a faites l'ont conduit à cette conséquence, que la somme des décompositions électro-chimiques est constante pour une portion quelconque d'un conducteur décomposant, et qu'elle est uniforme dans sa nature, à quelque distance que se trouvent les pôles. En généralisant sa pensée, on peut dire que pour une quantité constante d'électricité, quel que soit le conducteur décomposant, la somme totale de l'action électro-chimique est aussi une quantité constante, c'est-à-dire, qu'elle doit toujours être équivalente à la nature des effets chimiques produits. Cette vérité a été reconnue depuis longtemps.

La théorie qu'il a donnée des décompositions électro-chimiques a paru en général un peu abstraite. Suivant lui, la décomposition électro-chimique est due à une action qui se développe dans la direction du courant électrique, au moyen d'une force surajoutée aux affinités chimiques ordinaires des corps présents, et qui imprime une direction à ces affinités. Le corps soumis à la décomposition peut être considéré comme une masse de particules agissantes;

celles qui se trouvent sur la route du courant électrique contribuent à l'effet final, et c'est parce que l'affinité chimique ordinaire est allégée, affaiblie, ou en partie neutralisée par l'influence du courant électrique, dans une direction parallèle à celle qu'il suit, et renforcée ou augmentée dans une direction contraire, que les particules combinées ont une tendance à se diriger dans une route opposée. On voit donc que M. Faraday considère l'effet produit comme essentiellement dépendant de l'affinité chimique mutuelle des particules de nature opposée.

M. Faraday admet encore que dans un corps capable de recevoir l'action électrolitique ou décomposante, les particules élémentaires ont une relation mutuelle et une influence réciproque qui s'étend au delà de celles avec lesquelles elles sont combinées. Il est conduit à cette conséquence, en remarquant que les actions décomposantes se montrent fréquemment dans des directions obliques, c'est-à-dire, à droite ou à gauche de la ligne droite qui joint les pôles. Il fait remarquer que le rapport général des particules déjà combinées avec d'autres particules, auxquelles elles ne le sont pas encore, est prouvé par l'influence des masses sur le jeu des affinités. J'aurai plus tard à m'expliquer sur ce point.

Dans les gaz et les vapeurs, par exemple, là où l'attraction d'agrégation cesse, les pouvoirs décomposants de l'électricité paraissent cesser aussi, et les pouvoirs de la quantité ne se manifestent plus. Cela est vrai quand il s'agit de l'électricité voltaïque, mais nullement quand on opère avec l'électricité ordinaire, puisque l'on parvient, par son action, à décomposer et à recomposer les gaz.

M. Faraday attribue donc les décompositions électrochimiques à une modification qu'éprouvent les affinités des particules qui sont traversées par le courant, laquelle modification leur donne la faculté d'agir plus efficacement dans une direction que dans l'autre, en les faisant passer, conséquemment, par une série de dé-

compositions et de recompositions successives, dans des directions opposées, et les chassant vers les limites du corps décomposé, dans la direction du courant, en plus ou en moins grande quantité, selon que le courant est plus ou moins puissant; de sorte qu'un corps soumis à la décomposition se trouve en rapport plutôt avec le courant qu'il traverse qu'avec les pôles; et qu'une substance ne peut être transportée par le courant au delà du point où elle cesse de trouver des particules, avec lesquelles elle forme des combinaisons.

De ce que l'affinité chimique d'un élément pour un autre peut être augmentée dans un sens, et diminuée dans l'autre, on ne peut inférer, comme Grotthus l'a avancé le premier, que l'effet du courant soit de polariser chacune des particules; dès lors l'opinion de M. Faraday n'est pas celle de Grotthus qui est assez généralement adoptée.

Cet état de polarité électrique que l'on peut admettre, se manifeste également quand deux éléments se séparent ou se combinent ensemble; mais rien ne nous prouve encore, comme je l'ai déjà fait remarquer, que ces mêmes états subsistent pendant la combinaison; on doit donc se borner à les considérer comme transitoires et indispensables à l'action des affinités, soit que celles-ci s'exercent pour opérer des combinaisons ou des décompositions.

Revenons maintenant aux décompositions électro-chimiques telles que je les considère.

L'expérience prouve que, en général, un courant qui traverse une solution opère la séparation des parties constituantes. Dans le cas où l'on ne retrouve pas ces parties, la polarisation des lames décomposantes indique suffisamment qu'il y a eu transport d'éléments qu'on ne peut recueillir, en raison de leur ténuité, mais dont la présence est indiquée suffisamment par l'état même de polarisation.

Doit-on en conclure réciproquement que si une solution ne transmet pas un courant, c'est qu'elle ne peut

être décomposée par lui : cette conclusion ne paraît pas exacte. En effet, parmi les corps solides qui transmettent l'électricité, les uns sont conducteurs et ne sont pas décomposés : tels sont les métaux, le charbon, etc.; les autres ne sont pas conducteurs et ne peuvent être décomposés. L'électricité peut donc cheminer dans les corps solides sans avoir besoin de transporter avec elle des éléments matériels. Pourquoi n'en serait-il pas de même à l'égard des liquides dont la constitution est la même, sauf l'état d'agrégation, qui n'est pas semblable? Si les liquides, en général, sont décomposés, cela tient à ce que la force d'agrégation étant moindre, les affinités entre les particules sont plus facilement vaincues. Rien ne s'oppose donc à ce qu'un courant traverse un liquide sans le décomposer, quoique la polarisation des électrodes, qui a toujours lieu, annonce une décomposition.

Voici actuellement comment j'envisage l'action décomposante de l'électricité. Prenons un seul couple, zinc et cuivre, et examinons son action sur l'eau pure, acidulée ou alcaline, peu importe, attendu que l'électricité produite est due uniquement à l'oxidation du zinc et à la décomposition de l'eau. Aussitôt que le zinc est en contact avec celle-ci, il la décompose; de là résulte un dégagement d'électricité. L'oxigène, en se séparant de l'hydrogène pour se combiner avec le métal, est éminemment négatif, tandis que la particule zinc, qui a besoin d'être positive pour effectuer et constituer sa combinaison avec l'oxigène, chasse dans les corps environnants une quantité d'électricité négative égale en intensité à celle qui est propre à l'oxigène, laquelle se rend dans le cuivre aussitôt que le contact avec l'autre métal est établi, puis elle débouche dans le liquide.

L'hydrogène, au contraire, étant positif à l'état naissant, est transporté par le courant jusqu'au cuivre, où il reprend l'électricité négative dont il a besoin pour reformer son électricité naturelle. Sans le contact du cuivre, l'action est lente, attendu que l'affinité de l'oxigène pour le zinc est contre-balancée par celle de l'oxi-

gène pour l'hydrogène. Après le contact, l'action est, au contraire, énergique et rapide, parce que les deux forces électriques qui servaient à maintenir la combinaison de l'hydrogène et de l'oxigène, agissant alors dans un sens opposé à celui de leur action primitive, sont employées à détruire cette même combinaison. Pour mieux rendre ma pensée, considérons une lame de zinc et une lame de cuivre plongeant dans de l'eau acidulée, qui ne réagisse pas sur le cuivre : par suite de la plus forte affinité de l'oxigène pour le zinc que pour l'hydrogène, les deux gaz sont séparés. L'oxigène se combine avec le zinc, tandis que l'hydrogène devient libre. En adoptant les atmosphères électriques telles que je les conçois, avec la supposition toutefois qu'un corps n'est électrique que lorsqu'il est en rapport avec un autre, il s'ensuit que l'oxigène, qui doit être éminemment négatif à l'état naissant, reforme, à l'instant de sa combinaison avec le zinc, son atmosphère d'électricité positive aux dépens de l'électricité naturelle de ce métal, en chassant l'électricité négative dans le métal même qui la transmet aux corps environnants, comme l'expérience l'indique.

Si nous considérons maintenant l'hydrogène, à l'instant où il est à l'état naissant, il s'entoure subitement d'électricité négative aux dépens des corps environnants, et laisse échapper de l'électricité positive qui devient libre. Voilà ce qui se passe quand le cuivre et le zinc ne communiquent pas ensemble. Établissons maintenant le contact entre les deux métaux, l'électricité négative du zinc va être transmise au cuivre et de là au liquide. Or, la particule d'hydrogène qui, à l'instant de sa séparation, est éminemment positive, et dont l'affinité pour l'oxigène est diminuée par suite de celle de l'oxigène pour le zinc, va être attirée par l'électricité négative de la lame cuivre, et qui possède précisément une intensité égale à celle des deux électricités de la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène; par ce moyen, l'état électrique de l'oxigène se trouve trans-

porté à l'extrémité cuivre; dès lors, l'hydrogène n'exerçant plus d'influence sur l'oxigène, l'action de celui-ci pour le zinc doit être augmentée. Voilà comment il faut concevoir que l'énergie de l'action chimique est augmentée par l'action du contact.

Passons maintenant au cas où le courant est produit et fourni par la pile; ce courant, quel qu'il soit, doit être considéré comme le résultat d'un mouvement ondulatoire imprimé au fluide naturel, et, par suite, aux molécules des corps qui lui sont associés. Aussitôt que l'électricité positive débouche dans la solution, elle doit imprimer à l'électricité positive intermoléculaire du composé une impulsion semblable à celle qui l'anime. Or, cette électricité ne peut être déplacée qu'autant que son action pour l'électricité négative de l'oxigène est vaincue par l'action de la pile; elle emporte alors avec elle les molécules d'hydrogène. Dans ce cas, les atmosphères négatives sont neutralisées par les atmosphères d'électricité positive des molécules d'oxigène; cet effet ne peut être produit qu'autant que l'intensité électrique de la pile est supérieure à celle des molécules; ces dernières voyagent donc du pôle positif au pôle négatif, où elles sont obligées de s'arrêter, parce qu'elles ne peuvent traverser la lame de métal comme l'électricité positive.

L'électricité négative se comporte d'une manière analogue à l'égard des molécules d'oxigène, qui sont transportées par cette électricité jusqu'à la lame positive où elles deviennent libres; bien entendu que les deux molécules d'hydrogène, en quittant la molécule d'oxigène pour se rendre au pôle négatif, se combinent momentanément avec la molécule d'oxigène la plus voisine, qui est elle-même emportée vers le pôle positif par l'électricité négative, et ainsi de suite.

Il résulte de là une suite de décompositions et de recompositions chimiques, de molécule à molécule, jusqu'aux lames métalliques, où la décomposition devient définitive. Les considérations précédentes établissent des rapports intimes entre les affinités et les forces électriques; rapports

qui indiquent que l'électricité est associée aux particules d'un composé, et est indispensable au maintien de la combinaison, et, par suite, à l'action des affinités; elle peut donc représenter, comme elle la représente en effet, la force qui tient unies les particules; de telle sorte que pour vaincre ces affinités et séparer les particules, il faut employer un courant électrique au moins égal à celui que produiraient les deux électricités qui leur sont associées, si elles devenaient libres. On ne peut dire encore que la cause des affinités soit électrique; les faits observés jusqu'ici nous démontrent seulement l'existence des forces électriques, quand les particules se séparent ou s'unissent. Quoi qu'il en soit, c'est un effet qui devient souvent cause, et *vice versâ*. L'expérience montre encore que, si l'on communique à deux éléments les états électriques qu'ils doivent avoir dans leur combinaison, la combinaison s'opère immédiatement, attendu que ces éléments sont à l'état naissant. Nous voyons bien que, lorsque deux corps réagissent l'un sur l'autre, ils s'entourent d'atmosphères d'électricité contraire, nécessaires au maintien de la combinaison. Mais comment les affinités produisent-elles un semblable phénomène? C'est ce que nous ignorons; les faits manquent tout à fait pour nous éclairer à cet égard.

Ainsi, au lieu de considérer, comme l'a fait M. Ampère, les atomes comme possédant un état éminemment électrique positif ou négatif suivant leur nature, état qui constituerait leur essence, on doit regarder ces atomes comme associés, en quelque sorte, avec une certaine quantité d'électricité naturelle, si toutefois l'on peut dire que l'électricité est une matière; mais peu importe, car les effets seraient les mêmes, si l'électricité libre était le résultat d'un mouvement vibratoire. D'après les faits observés jusqu'ici, dans un composé formé de deux atomes, l'électricité naturelle de chacun de ces atomes est disposée comme l'a avancé M. Ampère, c'est-à-dire, que chacun d'eux a une électricité propre et une atmosphère; mais avec cette différence, néanmoins, que

cet état électrique résulte du jeu des affinités. Je ne crains pas trop de m'avancer, en disant que les affinités sont dépendantes de cette électricité naturelle, associée aux atomes; cette assertion est tellement fondée, que l'on détruit en grande partie le pouvoir des corps en faisant disparaître cette électricité naturelle; du moins, les effets qui ont lieu, quand on soumet certains corps à une haute température, permettent d'en tirer cette conséquence. En effet, on sait que lorsque l'on expose à une température très-élevée la zircone, les oxides de chrôme, et quelques antimoniates métalliques, ces corps laissent échapper de la lumière, et perdent alors la faculté de se combiner avec d'autres corps. Cette lumière, qui est un phénomène de phosphorescence, et par suite un effet électrique, nous annonce une destruction d'état électrique dans les oxides métalliques, et conséquemment un affaiblissement dans leur pouvoir chimique.

Tout porte à croire que la répugnance qu'éprouvent certains corps à se combiner et à se dissoudre, après leur exposition au feu, provient d'une cause semblable qui annonce, soit un changement dans l'état d'agrégation des molécules, soit une destruction au moins partielle de l'atmosphère d'électricité naturelle qui entoure chaque atome.

Quand les corps, comme l'alumine, le peroxide de fer, etc., ont été calcinés et ont perdu la faculté d'être attaqués à froid par de faibles réactifs, on est obligé de les mettre en présence d'acides concentrés à la chaleur de l'ébullition, pour leur rendre leurs facultés chimiques; c'est un effet du même ordre qui se produit, quand un corps, ayant perdu la faculté de devenir phosphorescent par la chaleur, la reprend après une courte exposition à la lumière solaire ou à la lumière électrique.

La théorie électro-chimique, considérée sous ce point de vue, peut servir à concevoir comment il se fait que, dans les substitutions, un élément électro-positif puisse être remplacé par un élément électro-négatif, sans changer pour cela les propriétés fondamentales du com-

posé. Prenons, par exemple, l'acide acétique, dans lequel un atome d'hydrogène peut être remplacé par un atome de chlore, d'où résulte l'acide chloro-acétique dont les propriétés fondamentales sont les mêmes que celles du premier acide; on peut se demander comment il se fait que, dans ce cas, un atome électro-positif puisse être remplacé par un atome électro-négatif. La réponse est facile : l'un et l'autre atome sont entourés d'une certaine quantité d'électricité naturelle, qui est décomposée à l'instant où les affinités s'exercent, de telle sorte que chaque atome peut devenir positif ou négatif, suivant le rôle qu'il joue dans la combinaison.

D'après cela, si, en soumettant à l'action du courant l'acide chloro-acétique, le chlore se porte au pôle positif, toutes les autres parties constituantes de l'acide doivent se rendre au pôle négatif, où elles forment un produit déterminé. Doit-on considérer alors l'acide comme un composé de ce produit et de chlore? C'est aux chimistes à décider la question.

§ II. *De la force chimique du courant électrique dans ses rapports avec les affinités, et de la mesure de ces dernières.*

M. Faraday a montré, comme on l'a déjà vu, que des quantités équivalentes de différents métaux, dégagent, quand ils s'oxident, une quantité égale d'électricité douée du même pouvoir chimique, et que la faculté que possède le courant de décomposer une combinaison, ne dépend pas de la quantité d'électricité dégagée, mais de son intensité. Il résulte de là qu'il ne suffit pas d'augmenter la quantité d'électricité dégagée pour qu'il y ait décomposition; il faut encore que cette électricité soit produite par une action chimique d'une certaine intensité. C'est ainsi que si l'on prend un couple zinc et platine, fonctionnant avec de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique et qui ne décompose pas un électrolite, on parvient à opérer la décomposition, en ajoutant à la solution une seule goutte d'acide nitrique, toutes

choses égales d'ailleurs; tandis que l'on n'obtient aucun effet en augmentant la quantité d'acide sulfurique ou l'étendue de la lame de zinc.

Il resterait à savoir si l'effet produit dans ce cas par l'acide nitrique ne provient pas d'une augmentation dans le pouvoir conducteur, ou bien de ce que l'acide nitrique étant plus facilement décomposable que l'acide sulfurique, fournit plus d'électricité au courant par l'effet même de cette décomposition.

M. Matteucci a soutenu une thèse opposée, en cherchant à prouver qu'en se servant d'une pile composée d'un certain nombre d'éléments, le courant acquiert toujours une force électro-chimique d'autant plus grande que la quantité d'électricité mise en circulation est plus considérable, et qu'il arrive cependant qu'une augmentation de surface du métal dissous n'a pas toujours pour effet la circulation d'une plus grande quantité d'électricité, tandis que cette circulation peut devenir plus considérable par un changement dans le liquide qui provoque le courant, sans que pour cela la quantité totale d'électricité dégagée se soit accrue.

Au milieu de ces opinions diverses, on ne peut s'empêcher de reconnaître l'influence de la conductibilité du liquide, que les physiciens négligent ordinairement dans l'explication qu'ils donnent des phénomènes électro-chimiques.

M. Matteucci a observé un autre fait qui n'est pas sans importance pour la théorie électro-chimique : c'est que l'on peut augmenter la force chimique du courant en diminuant la surface des lames décomposantes ; résultat analogue à celui découvert par Wollaston, dans les décompositions opérées au moyen de l'électricité libre. On conçoit, en effet, qu'en rétrécissant les lames décomposantes, on diminue la quantité totale d'électricité, tandis que l'on augmente son intensité dans les mêmes rapports.

Ce qu'il nous importe le plus de connaître en ce moment, et l'on verra dans un instant pour quel motif, c'est ce qui se passe quand on soumet à l'action décompo-

sante d'un courant un mélange de plusieurs composés.

Une expérience que j'ai annoncée il y a déjà un certain nombre d'années, montre, d'une manière évidente, que le courant exerce son action sur le sel, dont les éléments sont réunis en vertu des plus faibles affinités. Cette expérience, dont je ne rapporte pas ici tous les détails, attendu que je n'ai besoin que du fait général qu'elle met en évidence, a passé presque inaperçue, et je n'y suis pas revenu depuis.

M. Matteucci, cependant, a fait quelques recherches à ce sujet, et est parvenu à des résultats qui peuvent être exacts dans les circonstances où il a opéré, mais qui n'ont pas la généralité qu'il leur suppose. Suivant lui, dans une solution de deux sels, chacun est décomposé directement par le courant en proportion définie, de telle sorte que la quantité de chacune des parties décomposées équivaut à celle que l'on obtient en en décomposant une seule au moyen du même courant. Cette loi ne saurait être admise, comme je vais le démontrer en traitant de la mesure des affinités, qui est une des grandes questions de la chimie.

Bergman est le premier qui ait considéré les affinités comme des forces déterminées absolues, dont les effets pouvaient être modifiés: 1° par la différence de volatilité des substances en présence dans la même sphère d'activité; 2° par les altérations survenues dans les substances en présence; 3° par la solubilité. Dans ce dernier cas, il peut y avoir décomposition sans qu'il y ait aucun indice. Quant à la mesure des affinités, Bergman n'en parle pas : les moyens manquaient alors pour aborder cette question.

Je conçois que l'on ait éprouvé de grandes difficultés en cherchant les moyens de comparer les affinités des corps, tant que l'on n'a fait usage que des phénomènes chimiques; car, pour connaître l'intensité d'une force, il faut pouvoir comparer, dans des circonstances toujours les mêmes, les effets de cette force à ceux d'une autre force prise pour terme de comparaison; il faut

enfin avoir à sa disposition une autre force que l'on puisse mettre en opposition avec la première, de manière à pouvoir la détruire en tout ou en partie.

Après Bergman, Berthollet a fait paraître, sur les affinités, des recherches qui ont servi de règle de conduite jusqu'à l'établissement de la théorie atomique. Il s'est attaché particulièrement à l'influence de la cohésion dans les actions chimiques, et à la mesure des affinités qu'il regarde comme dépendantes de la masse des corps qui entrent en combinaison. Suivant lui, la cohésion peut balancer les affinités, et même déterminer des combinaisons et des décompositions; elle existe non-seulement au moment où elle se manifeste par ses effets, mais bien avant qu'elle devienne effective.

M. Gay-Lussac, dans des considérations d'un haut intérêt sur les forces chimiques, combat ce principe, que la cohésion des sels non encore existants détermine leur formation.

Bergman admet donc que l'affinité est une force absolue, sans partage dans ses effets. Berthollet suppose, au contraire, que l'affinité ne s'exerce point d'une manière absolue, sans partage. Suivant lui, une base, en présence de deux acides, ne se combine pas exclusivement avec le plus puissant des deux, comme le voulait Bergman; mais elle se partage entre ces deux acides, en raison de leur affinité et de leur quantité; de là le principe que l'affinité des différents acides pour une même base alcaline est en raison inverse de la quantité pondérable de chacun d'eux, qui est nécessaire pour la neutralisation d'une quantité égale de la même base alcaline. Ce moyen de mesurer l'affinité ne donne seulement que les poids atomiques qui sont indépendants des attractions chimiques, ou du moins n'ont que des rapports éloignés avec elles. J'en reviens à la force qui tient unies les molécules, dans une combinaison, à l'affinité.

Considérons une combinaison formée de deux atomes : ces deux atomes sont unis l'un à l'autre, en

vertu d'une force dont la nature nous est inconnue, et qui augmente ou diminue d'intensité suivant la température et diverses causes physiques. C'est l'intensité de cette force qu'il est nécessaire de connaître dans des circonstances déterminées, si l'on veut établir une relation entre les affinités. Or, si l'on pouvait, avec un instrument quelconque, d'une délicatesse excessive, saisir chacun des atomes, les tirer en sens contraire de leur attraction réciproque, la force qui serait précisément nécessaire pour vaincre cette attraction, lui servirait de mesure. La réunion des nombres exprimant les affinités ainsi déterminées serait une vraie table des affinités.

A défaut d'appareils mécaniques propres à vaincre l'attraction réciproque des deux atomes, nous avons dans les courants électriques une puissance capable de remplir les mêmes fonctions. En effet, quand un courant électrique traverse un liquide tenant en dissolution un sel, l'électricité positive s'empare de l'alcali, qu'elle transporte au pôle négatif, tandis que l'électricité négative s'empare de l'acide, qu'elle transporte au pôle positif. Les deux électricités se comportent donc comme les appareils idéals dont je viens de parler. Mais, pour les substituer à ces derniers, il faut trouver les moyens d'évaluer avec exactitude l'intensité du courant nécessaire pour décomposer une quantité atomique donnée d'une combinaison, ou, au moins, déterminer les rapports entre les forces nécessaires pour séparer, dans un mélange de deux sels, un équivalent de chacune des bases.

Plusieurs principes sont nécessaires pour arriver à cette détermination. Le premier a été découvert par M. Faraday : il consiste, comme on l'a déjà vu, en ce que les équivalents des corps sont unis ou plutôt associés à une même quantité d'électricité, de sorte que le même courant qui passe dans deux dissolutions métalliques séparées, opère leur décomposition, de telle manière que sur chaque lame négative on trouve un équivalent de chaque métal.

Voilà ce qui se passe lorsque les deux solutions se trouvent dans deux vases séparés, communiquant ensemble au moyen d'une lame de platine. Mais que doit-il arriver quand ces deux solutions sont mêlées ensemble? C'est une question qui n'a pas encore été résolue d'une manière générale.

Tel était l'état de nos connaissances sur les principes généraux de l'électro-chimie, quand j'ai entrepris une série de recherches dans le but d'arriver à la mesure des affinités, en suivant la méthode expérimentale que je vais exposer. Pour mettre de l'ordre dans cette exposition, je rapporterai successivement les expériences, en indiquant les conséquences que l'on peut déduire de chacune d'elles.

1re *Expérience.*

On a pris trois capsules en porcelaine; dans la première, on a versé une solution saturée de nitrate de cuivre dans l'eau distillée; dans la seconde, une solution saturée de nitrate de plomb, et dans la troisième, une solution saturée de nitrate d'argent; puis on a fait communiquer la première avec la deuxième, la deuxième et la troisième avec une lame de platine, et on a mis en relation les deux capsules extrêmes, également au moyen de lames de platine, avec une pile voltaïque formée de dix éléments à courant constant, et faiblement chargée. Une demi-heure après, les lames négatives ont été enlevées, lavées, séchées et pesées, d'abord avec le précipité, puis sans précipité.

On a eu les résultats suivants :

	Poids du précipité métallique.	Poids atomique.
Capsule contenant la solution de nitrate de cuivre....	0,^{g}0085	0,^{g}0085
id. id. de nitrate de plomb..	0, 0270	0, 0279
id. id. de nitrate d'argent...	0, 0290	0, 0290

Ces résultats nous montrent que la décomposition s'est effectuée en proportion définie, conformément au principe reconnu par M. Faraday.

2° *Expérience.*

L'expérience précédente nous montre bien que chaque solution traversée par le même courant donne pour résultats des équivalents de cuivre, de plomb et d'argent; mais en est-il encore de même quand les solutions sont mélangées? Pour le savoir, opérons d'abord sur des quantités atomiques égales de chacun de ces nitrates.

	Poids du précipité.	Poids atomique.
1° Solution de nitrate de cuivre et de nitrate de plomb. 1 g nitrate de plomb. 0 g,81 nitr. de cuivre hydrat. 100 g d'eau distillée.	0 g,010 cuivre,	0 g,0094.
2° Solution de nitrate de cuivre et de nitrate d'argent; mêmes proportions atomiques que ci-dessus.	0 g,0275 arg.	0 g,0275.
3° Solution de nitrate de plomb et de nitrate d'argent; mêmes proportions atomiques.	0 g,0285 arg.	0 g,0286.

A part quelques légères différences provenant d'erreurs commises dans les expériences, on voit que la décomposition s'est opérée encore en proportion définie; seulement, dans le mélange de la solution de nitrate de cuivre et de nitrate de plomb, ainsi que dans celui de la solution de nitrate de cuivre et de nitrate d'argent, le nitrate d'argent a été seul décomposé, tandis que dans le mélange des solutions de nitrate de plomb et de nitrate de cuivre, le nitrate de cuivre est seul décomposé.

Or, comme le cuivre et le plomb décomposent le

nitrate d'argent, et le plomb le nitrate de cuivre, il s'ensuit que, dans les circonstances actuelles, là où les nitrates sont en proportions atomiques égales, le courant exerce de préférence son action décomposante sur le nitrate dans lequel les affinités de l'oxigène et de l'acide nitrique pour le métal sont les moindres.

Augmentons maintenant les proportions atomiques de celui des nitrates qui n'est pas décomposé, pour savoir ce qui se passera.

3e *Expérience.*

On a fait un mélange d'une partie atomique de nitrate d'argent égale à $0^{g},1$, avec 2, 4, 8, 16 de nitrate de cuivre hydraté; chaque mélange a été mis dans une capsule particulière, avec 100 grammes d'eau distillée, et après avoir établi la communication, comme dans la 1re expérience, on a placé dans le circuit une capsule renfermant également $0^{g},1$ de nitrate d'argent, avec 100 grammes d'eau, laquelle servait de voltaïmètre. Après une demi-heure d'expérience, on a eu les résultats suivants :

1° Voltaïmètre.....		$0^{g},0075$ argent.
2° Solution de 1 partie de nitrate d'argent et de deux de cuivre.....	0,0085 arg.	
3° Solution de 1 part. de nitrate d'argent et de 4 part. de nitrate de cuivre....	0,0080 arg.	Moyenne. $0^{g},0076,25$ argent.
4° Solution de 1 part. de nitrate d'argent et de 8 part. de nitrate de cuivre....	0,0070 arg.	
5° Solution de 1 part. de nitrate d'argent et de 16 part. de nitrate de cuivre....		$0^{g},0070$

Nous voyons par là que, dans un mélange d'une partie atomique de nitrate d'argent avec 2, 4, 8, 16 parties atomiques de nitrate de cuivre, dans la même quantité d'eau, le nitrate d'argent est encore seul décomposé.

Augmentons les proportions de nitrate de cuivre, afin d'arriver au terme où ce dernier commence à être décomposé.

4e Expérience.

	Part. atomiques de nitr. d'arg.	Part. atom. de nitr. de cuivre.	Poids du précipité.	
1° Voltaïm.	$0^g,1$....	»	$0^g,0070$ arg.	
2°	id.....	2	$0^g,0070$ id.	
3°	id.....	4	$0^g,0080$ id.	
4°	id.....	8	$0^g,0060$ id.	Précipité légèrement pulvérulent.
5°	id.....	16	$0^g,0060$ id.	Précipité très-floconneux, présentant de larges tubercules qui finissent par couvrir le fond de la capsule.
6°	id.....	32	$0^g,0065$ id.	

Jusqu'ici, le cuivre n'a pas encore paru ; mais les résultats précédents nous font connaître un fait très-remarquable : c'est qu'en augmentant la proportion de nitrate de cuivre, le précipité d'argent cesse d'être cristallin; il devient floconneux, tuberculeux, ayant la forme d'un champignon; dont les parties sont dans un tel état de division, que les pesées présentent alors de grandes difficultés. Il semble résulter de là que la masse de nitrate de cuivre, à mesure qu'elle augmente dans la solution, exerce une action attractive sur les particules d'argent, à l'instant où elles se déposent sur la lame négative, de manière à empêcher les molécules de se rassembler.

Continuons d'augmenter les proportions de nitrate de cuivre.

	Parties atom. nitr. d'argent.	Parties atom. nitr. de cuivre.	Poids du précip.	
7° Cuivre	$0^g,1$....	64....	$0^g,055$...	Argent très-floconneux, renfermant une très-petite quantité de cuivre.

8°	id.....	128....	id.	Arg. cuivreux, dans un tel état de division, qu'il a été impossible de le recueillir et de le laver sans éprouver de grandes pertes.
9°	id.....	256....	id.	

Le nitrate de cuivre a donc commencé à être décomposé quand il y a eu dans le mélange 60 et quelques parties atomiques environ de nitrate de cuivre pour 1 de nitrate d'argent.

Ces dernières opérations nous montrent, comme les précédentes, que l'état physique du précipité change à mesure que l'on approche du terme où le nitrate de cuivre commence à être décomposé; il résulte de là, que l'aspect seul du précipité indique le terme où les affinités de l'oxigène et de l'acide nitrique pour le cuivre vont être vaincues par l'action du courant.

Avant de continuer à exposer les expériences qui vont servir à comparer les affinités que l'oxigène et l'acide nitrique exercent sur l'argent et le cuivre, résumons les faits qui résultent des expériences 3 et 4, et tirons-en des conséquences capables de nous guider dans la route difficile que nous allons essayer de parcourir.

Quand on soumet à l'action d'un courant constant une solution de 1 partie de nitrate d'argent, et de 2, 4, 8, 16, 32, 64 parties de nitrate de cuivre, dans 100 parties d'eau distillée, le nitrate de cuivre ne commence à être décomposé que lorsqu'il se trouve dans la solution plus de 60 parties de ce dernier sel; je dis plus de 60 parties parce que le terme n'a pas été déterminé d'une manière aussi précise qu'on le fera ci-après. On conçoit qu'en continuant à augmenter les proportions du nitrate de cuivre, on finit par arriver à un terme où le dépôt renferme une partie atomique de cuivre et une partie atomique d'argent. Ce résultat ne peut être obtenu, d'après le principe de M. Faraday, qu'autant que le courant est partagé en deux parties parfaitement égales; car on sait que les équivalents des corps étant associés à des quantités égales d'électricité, ne peuvent être séparés

que par des courants égaux en intensité. On en peut tirer la conséquence, que la force qui unit alors l'oxigène et l'acide nitrique à un équivalent d'argent, dans le nitrate de ce métal, est la même que celle qui unit l'oxigène et l'acide nitrique à un équivalent de cuivre, dans le nitrate de ce métal, quand il y a dans la solution plus de 60 parties de nitrate de cuivre pour 1 d'argent. Supposons que cette décomposition ait lieu quand il y a n parties atomiques de nitrate de cuivre pour 1 de nitrate d'argent : dans ce cas, l'influence qu'exercent ces n parties, quelle qu'elle soit, affaiblit les affinités de l'oxigène et de l'acide nitrique pour un équivalent de cuivre, au point qu'elles sont égales à celles qu'elles exercent sur un équivalent d'argent. On voit par là l'influence des masses sur les décompositions électro-chimiques. Nous comparerons plus loin cette influence des masses avec celle qui avait été admise par Berthollet.

5e *Expérience.*

Dans cette expérience, on s'est proposé de déterminer les proportions atomiques suivant lesquelles les quantités de cuivre et d'argent sont précipitées.

	gramm.	gramm.	gramm.
1 partie de nitr. d'argent.	0,1	précipité 0,00825	cuivre. 0,0050 atomes de cuivre.
256 parties de nitr. de cuivre	20,86		argent. 0,0030 atomes d'argent.
100 grammes eau.....			

Voltaïmètre.....
Nitrate d'argent 0g,1
100 grammes d'eau. } précipité 0g,0215 argent.

Ce résultat, et d'autres que je ne rapporte pas, montrent que les quantités d'argent précipité peuvent être calculées immédiatement, quand on connaît le poids de leur mélange et celui du précipité dans le voltaïmètre; car si l'on remplace le cuivre par son équivalent en argent, on a précisément le poids de l'argent obtenu dans le voltaïmètre.

Représentons par p le poids de ce dernier, p' celui du mélange des deux métaux, on aura, en désignant par x et y les quantités d'argent et de cuivre qu'il renferme,

$$x + y = p'.$$

D'un autre côté, les poids atomiques de l'argent et du cuivre étant 1351,61 et 395,70, on a

$$x + \frac{1351,61}{395,70} y = p.$$

Au moyen de ces deux équations, on obtient la valeur de x et y.

On vérifie ensuite par l'analyse chimique si les valeurs sont exactes.

Dans le cas actuel, on a $y = 0,0055$, $x = 0,0027$, ce qui s'accorde avec le résultat de l'expérience; car, comme on l'a déjà vu, on est très-heureux quand on obtient des pesées à un ou deux milligrammes près.

6e *Expérience.*

Dans les expériences précédentes, la lame positive et la lame négative plongeaient dans la même capsule; il en résultait que l'acide nitrique devenu libre pouvait réagir sur le précipité métallique, particulièrement sur le cuivre, et que l'oxigène qui se rendait au pôle positif donnait naissance à du peroxide d'argent, ce qui changeait naturellement les proportions atomiques des nitrates. Pour obvier à cet inconvénient, on a opéré de la manière suivante : La dissolution de nitrate d'argent du voltaïmètre et celle du mélange des deux nitrates ont été mises chacune en relation au moyen d'une mèche d'asbeste, avec une capsule remplie d'eau distillée renfermant quelques gouttes d'acide nitrique. La mèche d'asbeste était légèrement soulevée au milieu pour retarder le plus possible le mélange des liquides. Chaque

lame positive plongeait dans une capsule d'eau distillée, et la lame négative dans un des mélanges; la communication entre les capsules qui n'étaient pas en relation avec des mèches d'asbeste était établie avec des lames de platine; au moyen de cet arrangement, on n'avait plus à craindre les inconvénients signalés plus haut. Les résultats suivants ont été obtenus dans une expérience disposée comme je viens de le dire.

1° Voltaïmètre $0^g,1$ nitrate d'argent.
100 gr. d'eau distillée.

2° { 1 part. atom. de nitr. d'arg.. 0^g 1 } dissous dans 100 gr. d'eau distillée.
{ 100 part. atom. de nitr. de cuiv. 8^g10 }

Après une demi-heure d'expérience, on a retiré la lame qui se trouvait dans le mélange des deux nitrates; le précipité recueilli, lavé et analysé, a donné

$0^g,009$ argent. { 1 atom. d'argent } Poids de l'argent précipité dans le voltaïmètre. 0,033.
0 ,007 cuivre. { 2,7 atom. de cuiv. }

La lame ayant été remise en expérience pendant une demi-heure, on a eu

0,007 argent. { 1 atom. d'argent. } Poids de l'argent précipité dans le voltaïmètre. 0,024.
0,005 cuivre. { 2,5 atom. de cuivre }

La lame remise en expérience pendant le même temps a donné

0,0075 argent. { 1 atom. d'argent } Poids de l'argent précipité dans le voltaïmètre. 0,0275.
0,005 cuivre. { 2,8 atom. de cuiv. }

Enfin, dans une nouvelle expérience, on a obtenu

0,0046 argent. { 1 atom. d'argent } Poids de l'argent précipité dans le voltaïmètre. 0,023.
0,0054 cuivre. { 4 atom. de cuiv. }

Ces diverses opérations ont été faites dans le but de montrer le mode d'expérimentation et la marche à suivre dans les recherches qui nous occupent. Dans les trois premières opérations, les résultats sont sensiblement les mêmes; ainsi les rapports entre les quantités atomiques des sels étaient tels, que le partage du courant entre les deux nitrates était le même. On peut tirer la conséquence des résultats obtenus, que dans une solution renfermant $0^{g},1$ de nitrate d'argent, $8^{g},10$ de nitrate de cuivre, et 100 gr. d'eau, le précipité électrochimique renferme à peu près un atome d'argent et 3 atomes de cuivre.

7e *Expérience.*

On conçoit très-bien maintenant qu'en commençant à opérer sur des mélanges de nitrate dans de faibles proportions atomiques, on finit par arriver, après un certain nombre d'opérations, à saisir le point où le cuivre commence à se précipiter, et celui où les quantités d'argent et de cuivre sont deux équivalents.

Dans les expériences précédentes, on a opéré sur des mélanges qui renfermaient des parties atomiques d'argent et de cuivre telles, que la quantité de l'argent était égale à 0,1 gr., et la quantité d'eau à 100 gr.; on peut se demander si les résultats précédemment rapportés, particulièrement ceux de la 4e expérience, sont encore les mêmes, quand on prend successivement pour parties atomiques du nitrate d'argent $0^{g},5$ et 1 gr. avec la même quantité d'eau. Les opérations suivantes vont répondre à cette question.

Désignons par A la lame négative du voltaïmètre.
— — B — — du 1er mélange.
— — C — — du 2e mélange.
— — D — — du 3e mélange.

Caps. A 1 gr. de nit. d'arg. dissous dans 100 gr. d'eau.

id. B { 1 part. at. de nit. d'arg. 0,1 / 20 part. at. de nit. de cuiv. 1,61 } 100 gr. d'eau.

Caps. C { 1 part. at. de nit. d'arg. 0,5 / 20 part. at. de nit. de cuiv. 8,05 } 100 gr. d'eau.

id. D { 1 part. at. de nit. d'arg. 1 gr. / 20 part. at. de nit. de cuiv. 16,10 } 100 gr. d'eau.

La pile employée était la même que précédemment.

1re *Opération.*

Précipité	sur la lame A	0g,011	d'argent.
—	sur la lame B	0, 011	id.
—	sur la lame C	0, 011	id.
—	sur la lame D	0, 012	id.

2e *Opération.*

Précipité	A	0,021	d'argent.
—	B	0,021	id.
—	C	0,022	id.
—	D	0,021	id.

Dans ces deux opérations, l'argent a été précipité en même quantité dans les quatre capsules, sans trace de cuivre.

3e *Opération.*

Précipité	A	0,018	d'argent
—	B	0,016	d'argent légèrement cuivreux.
—	C	0,017	d'argent.
—	D	0,017	d'argent.

Le cuivre a commencé à paraître dans la capsule *B*, où la quantité de nitrate d'argent était la moindre; la moyenne de la quantité d'argent réduite dans chaque

capsule, dans les trois opérations, est de $0^{g},049$ d'argent. Or $0^{g},049$ d'arg. correspondent à $0^{g},077$ de nitrate d'argent; il s'ensuit qu'il ne restait plus dans la capsule B que $0^{g},023$ de ce sel, c'est-à-dire, une partie atomique de nitrate pour 86 parties de nitrate de cuivre.

4e Opération.

Voltaïmètre précipité	A	$0^{g},0095$ d'argent.	
Id.	B	$0^{g},0035$ d'argent.	1 at. d'arg.
		$0^{g},0025$ de cuiv.	2 at. de cuiv.
Id.	C	$0^{g},011$ d'argent.	
Id.	D	$0^{g},011$ d'argent.	

Après la quatrième opération, il ne restait plus dans la capsule B que 0,0167 de nitrate d'argent, c'est-à-dire, 1 partie atomique de nitrate d'argent pour 120 de nitrate de cuivre.

5e Opération.

Voltaïmètre précipité	A	$0,^{g}0370$ d'argent.	
Id.	B	0, 0035 d'argent	1 atome d'arg.
		0, 0100 de cuiv.	10 atom. de cuiv.
Id.	C	0, 0350 d'argent.	
Id.	D	0, 0370 d'argent.	

6e Opération.

Voltaïmètre précipité	A	$0^{g},0450$ d'argent.
Id.	B	0, 013 de cuiv., très-peu d'ar.
Id.	C	0, 043 d'argent.
Id.	D	0, 0430 d'argent.

Les six opérations précédentes nous font connaître un fait dont je vais essayer de faire ressortir l'importance, en le mettant en regard de celui qui est signalé dans l'expérience 4e. On a vu dans cette expérience

l'influence des masses sur le partage d'un courant en deux parties égales, capables de séparer chacune un équivalent de cuivre et un équivalent d'argent; ainsi, quand une solution renfermait 1 partie atomique égale à $0^{g},1$, il fallait plus de 60 parties de nitrate de cuivre pour que ce dernier commençât à être décomposé. Les résultats obtenus dans l'expérience 8e qui nous occupe, montrent que lors même que dans les mélanges des sels le rapport des proportions chimiques est conservé, la quantité absolue de nitrate d'argent qui s'y trouve, pour la même quantité d'eau, exerce également une influence à l'égard de l'action décomposante du courant sur le sel de cuivre.

On devait s'attendre à ce résultat, qui n'est qu'une suite de la loi de l'influence des masses, observée quand la partie atomique de nitrate d'argent était constante et égale à $0^{g},1$. Aussi voit-on dans les opérations 4, 5 et 6, que le cuivre paraît dans la capsule B, tandis qu'il y a toujours de l'argent sur les lames qui se trouvent dans les autres capsules. Nous sommes conduits par là à reconnaître qu'il doit exister une loi, assez compliquée à la vérité, exprimant une relation entre les quantités absolues des deux nitrates et leurs proportions atomiques, pour que le courant sépare un équivalent de chaque métal. La détermination de cette loi serait d'une grande importance pour la théorie électro-chimique.

8e *Expérience.*

Nous allons maintenant soumettre à l'action d'un même courant des solutions de nitrate d'argent, de cuivre et de plomb, mélangées dans des proportions atomiques déterminées, en nous conformant toujours au mode d'expérimentation indiqué plus haut, c'est-à-dire, en mettant en relation une capsule remplie d'une solution de mélange avec une capsule contenant de l'eau acidulée, et ce couple communiquant avec le couple voisin, au moyen d'une lame de platine.

Capsule A voltaïmètre	1 atome de nitrate d'argent..	$0^{g},1$
Capsule B	1 atome de nitrate d'argent...	0,1
	20 atomes de nitrate de cuivre..	1,62
Capsule C	1 atome de nitrate d'argent...	0,1
	20 atomes de nitrate de plomb.	1,94
Capsule D	20 atomes de nitrate de cuivre.	1,62
	20 atomes de nitrate de plomb.	1,94

1re *Opération.*

Précipité	A	$0^{g},030$ d'argent.
—	B	0, 030 id.
—	C	0, 029 id.
—	D	0, 0085 de cuivre, dont l'équivalent correspondant d'argent est égal à 0,029.

Après cette opération, il ne restait plus dans la dissolution que 0,047 de nitrate d'argent, ou 1 partie atomique de nitrate d'argent et 42,40 parties de nitrate de cuivre.

2e *Opération.*

Précipité	A	$0^{g},023$ d'argent.
Id.	B	0, 0205 Précipité d'argent très-floconneux, faiblement cuivreux.
Id.	C	0, 018 Précipité noir très-pulvérulent d'argent sans plomb. Il y a eu perte dans la pesée.
Id.	D	0, 008 de cuivre sans plomb.

3e *Opération.*

Précipité	A	$0^{g},037$
Id.	B	0,012 d'argent..... 0,012
		0, 008 de cuivre; l'équivalent en argent est égal à 0,027

4e Opération.

Voltaïmètre, précipité	A	0g,029.
— —	B	On n'a pu recueillir qu'une partie du précipité.
— —	C	Précipité noir très-pulvérulent, renfermant du plomb et de l'argent; il n'a pu être recueilli.
— —	D	0g,10 de cuivre sans plomb.

Ces différents résultats montrent, comme du reste on le savait déjà, que l'argent se précipite avant le plomb, et le cuivre avant ce dernier : nous verrons dans les expériences suivantes, quelles sont les proportions atomiques nécessaires pour obtenir rigoureusement le point fixe où le plomb commence à se précipiter quand il est en présence du cuivre.

9e Expérience.

Dans cette expérience, on a voulu s'assurer si, en étendant d'eau les solutions des mélanges des sels, on obtiendrait les mêmes résultats que lorsqu'on diminuait les quantités atomiques du nitrate. Les résultats obtenus montrent en effet que les phénomènes décrits dépendent de la quantité de matière qui se trouve dans une quantité d'eau donnée. L'expérience a été disposée comme il suit :

Voltaïm., caps. A	0g,1 de nitrate d'argent. 10 grammes d'eau.
caps. B	1 part. at. de nit. d'argent, 0,1. 30 part. at. de nit. de cuivre, 2,43. 10 grammes d'eau.
caps. C	1 id. id. 30 id. id. 20 grammes d'eau.
caps. D	1 id. id. 30 id. id. 30 grammes d'eau.

Quatre opérations successives ont été faites suivant la marche indiquée, et toutes ont montré qu'une plus grande quantité d'eau dans la solution, équivaut à des quantités atomiques de nitrate de cuivre et de nitrate d'argent moindres.

10e *Expérience.*

On a recommencé l'expérience, en prenant seulement 0^g,06 au lieu de 0^g,1, afin d'arriver, dès la première opération, au dépôt tuberculeux annonçant le commencement de la décomposition du nitrate de cuivre.

1re *Opération.*

Voltaïmètre, précipité	A	0^g,011	d'argent en cristaux.
— —	B	0^g,010	d'argent id.
— —	C	0^g,011	d'argent tuberculeux.
— —	D	0^g,008	argent très-tuberculeux, renfermant très-peu de cuivre. Il y a eu perte de quelques milligrammes dans les pesées.

A la fin de cette opération, en raison de la quantité d'argent enlevée, il ne restait plus que 0^g,0417 de nitrate d'argent, ou 1 partie atomique de ce sel pour 67,20 parties atomiques de nitrate de cuivre.

On doit remarquer que dans les deux dernières capsules, où les solutions étaient les plus étendues, les précipités présentaient l'état tuberculeux.

2e *Opération.*

Voltaïmètre, précipité	A	0^g,025	d'argent.	
Id.	B	0 ,0155	d'arg. cuivr. floconneux	argent 0g,012 I at. d'argent. / cuivre 0 ,004 I at. de cuivre.
Id.	C	0 ,0155	d'arg id..... id.....	argent 0 ,012 I at. d'argent. / cuivre 0 ,004 I at. de cuivre.

Le précipité D n'a pu être pesé, en raison de son grand état de division et des pertes qu'on avait faites.

Les résultats obtenus dans les capsules B et C, comparés à celui du voltaïmètre, nous montrent qu'il y a eu un équivalent d'argent et un équivalent de cuivre de précipités; ce qui annonce, comme je l'ai déjà dit, que le courant a été partagé en deux parties égales. Cet effet a été obtenu quand il y a eu dans les solutions 1 partie atomique de nitrate d'argent, et environ 67 parties atomiques de nitrate de cuivre. A la fin de cette opération, il ne restait plus dans les solutions que $0^{g},025$ de nitrate d'argent pour $2^{g},43$ de nitrate de cuivre, c'est-à-dire que, dans les solutions, excepté dans celle du voltaïmètre, il y avait 1 partie atomique de nitrate d'argent pour 120 parties atomiques de nitrate de cuivre.

3e *Opération.*

Voltaïmètre, précip.	A	$0^{g},020$ d'argent.		
— —	B	0,007 id. cuivreux.		
— —	C	0,009 id. id.	}	moy. 0,008
— —	D	0,007 id. id.		

L'analyse a donné 1 partie atomique d'argent et 6 parties atomiques de cuivre.

11e *Expérience.*

Dans cette expérience, j'ai eu pour but de déterminer le point précis où commence à s'opérer la décomposition de deux nitrates dans différents mélanges, en prenant toujours $0^{g},1$ pour une partie atomique de nitrate d'argent.

Capsule A, voltaïm.	$0^{g},1$ d'argent. 20 grammes d'eau.
Capsule B conten.	1 part. at. de nit. d'argent, $0^{g},1$. 40 part. at. de nit. de cuivre, 3,22.
Capsule C id.	1 part. at. de nit. d'argent, 0,1. 40 part. at. de nit. de plomb, 3,88.
Capsule D id.	1 part. at. de nit. de cuivre, 0,081. 40 part. at. de nit. de plomb, 3,88.

Dans la première opération, dont je ne rapporte pas ici les résultats, on n'a obtenu dans les capsules A, B, C, qu'un précipité d'argent, et, dans la capsule D, $2^{g}002$ de cuivre; dans la seconde opération, que je ne rapporte pas non plus, on a eu dans B et C de l'argent, puis

Voltaïmètre, précipité A $0^{g},015$ d'argent.
— B $0^{g},009$ de cuivre et de plomb.

Le calcul donne pour ce dernier précipité :

Cuivre..... 0,0023, 1 atome de cuivre.
Plomb..... 0,0067, 1 atome de plomb.

Or, dans la 1re opération, il n'y avait que $0^{g},002$ de cuivre précipité. Cette quantité correspond à $0^{g},009$ de nitrate hydraté de cuivre; il ne restait donc plus, quand le nitrate de plomb a commencé à se précipiter, que $0^{g},072$ de sel, ou une partie atomique de nitrate de cuivre pour 45 parties atomiques de nitrate de plomb.

J'en reviens à la 1re opération : l'argent enlevé pesait $0^{g},022$, correspondant à $0^{g},0345$ de nitrate d'argent décomposé; il n'en restait donc plus, dans les trois premières solutions, que $0^{g},0655$. Il y avait donc dans la capsule C les mêmes proportions atomiques entre les quantités de nitrate d'argent et de plomb.

3e *Opération.*

Voltaïmètre, précipité A $0^{g},014$ d'argent.
Voltaïmètre, précipité B $0^{g},010$ d'argent, dont la solution dans l'acide nitrique a indiqué la réaction du cuivre avec l'ammoniaque.

Le calcul donne... Argent, $0^{g},0083$.
Cuivre, $0^{g},0017$.

Ces nombres correspondent à un équivalent de cuivre pour 1,4 équivalent d'argent.

Précipité C $0^{g},014$ d'argent, avec traces légères de plomb.
Précipité D $0^{g},010$ cuiv. plomb. { cuivre, $0^{g},0015$ / plomb, $0^{g},0085$ } équivalent en argent : 0,014.

Dans ce dernier précipité, il y a 1 atome de cuivre et 1,7 atome de plomb.

4e *Opération.*

Voltaïmètre, précipité A $0^{g},012$ d'argent.
— — B néant.
— — C néant.
— — D $0^{g},011$ plomb légèrement cuivreux.

Dans ce dernier précipité, il y avait :

Plomb..... $0^{g},010$.
Cuivre..... $0^{g},001$.

Dans les deux premières opérations, le précipité de cuivre sur les lames pesait $0^{g},043$, correspondait à 0,022 de nitrate hydraté ; la dissolution ne renfermait que $0^{g},081$; il n'en restait donc plus que $0^{g},059$. Ainsi, à la 3e opération, la capsule D renfermait 1 partie atomique de nitrate de cuivre, et environ 55 parties atomiques de nitrate de plomb.

Nous voyons encore par là, qu'après la seconde opération, le précipité contenait sensiblement 1 atome de plomb et 1 atome de cuivre. A cette époque, il ne restait plus, dans les dissolutions B et C, que $0^{g},034$ de nitrate d'argent; or, au commencement de l'expérience, il y avait $0^{g},1$; le nitrate était donc réduit à $0^{g},066$, ce qui fait que dans la solution il y avait 1 partie atomique de nitrate d'argent pour 66 parties atomiques de nitrate de cuivre. A la fin de la 3e opération, le précipité B renfermait 1 équivalent de cuivre et 1 équivalent $\frac{1}{2}$ environ d'argent, tandis qu'il n'y avait plus dans la solution que 1 équivalent de nitrate d'argent et 80 équivalents de nitrate de cuivre; en recommençant l'expérience avec des quantités proportionnelles intermédiaires, on resserre les limites, et l'on finit par arriver à la précipitation des équivalents égaux d'argent et de cuivre.

Les expériences dont je viens de rendre compte sont longues et demandent des soins, en raison de la difficulté que l'on éprouve à rassembler les précipités, et du grand nombre d'analyses que l'on est obligé de faire, quelquefois avec de petites quantités de précipités.

Je n'ai pu encore déterminer le point précis où, dans la solution de nitrate d'argent et de nitrate de plomb, ce dernier commence à se décomposer, attendu que le précipité est dans un tel état de division, qu'il s'attache aux parois des vases dans lesquels on le lave, et qu'il reste longtemps en suspension dans l'eau.

Il n'en est pas de même du précipité qui se forme dans la capsule où se trouvent le nitrate de cuivre et le nitrate de plomb, parce qu'il a une certaine consistance.

La 11e expérience nous indique qu'après la 1re opération, le nitrate de plomb n'était pas encore décomposé dans la capsule D; il existait alors dans la solution 1 partie atomique de nitrate de cuivre, et 45 parties atomiques de nitrate de plomb.

Après la seconde opération, le précipité renfermait 1 partie atomique de cuivre et 1 de plomb; il n'y avait

plus, à cette époque, que $0^{g},057$ de nitrate de cuivre dans la capsule D, ou 1 partie atomique de nitrate de cuivre pour 57 parties atomiques de nitrate de plomb; or, pour

1 part. atom. de nitrate d'argent ($0^{g},1$),
67 atomes de nitrate de cuivre ($67+0,081$),

le nitrate de cuivre est sur le point d'être décomposé, tandis que le nitrate de plomb ne commence à l'être que quand on opère avec

1 part. atom. de nitrate de cuivre ($0^{g},081$),
45 part. atom. de nitrate de plomb ($45, 0^{g},092$);

il s'ensuit que dans les deux cas, les quantités atomiques dont la présence est nécessaire pour que le courant puisse vaincre les affinités, sont dans le rapport de 67:45. Les affinités elles-mêmes sont-elles proportionnelles à ces nombres ou à leur carré, ou à une autre puissance de ces nombres? C'est ce qu'on ignore.

CONCLUSIONS.

Voici les principales conséquences que l'on tire des faits exposés dans ce chapitre :

Les équivalents des corps sont associés à des quantités égales d'électricité, d'où il suit que l'action chimique du courant est définie : c'est le fait découvert par M. Faraday. Si ce courant traverse en même temps des solutions de différents nitrates métalliques, les quantités de métal réduit sont des équivalents. Si le courant traverse des mélanges de deux solutions, renfermant chacune une quantité atomique de nitrate d'argent, de

nitrate de cuivre ou de nitrate de plomb, le métal dont les affinités pour l'oxigène et l'acide nitrique sont moindres, est seul décomposé.

Quand on opère sur une solution de nitrate d'argent et de nitrate de cuivre, ou de deux autres nitrates, et que l'on augmente successivement la proportion atomique du nitrate qui n'a pas été décomposé, le précipité d'argent cesse peu à peu d'être cristallin ; il devient alors floconneux, tuberculeux, ayant la forme d'un champignon, dont toutes les parties sont dans un état de division extrême. Ce changement d'état annonce, non-seulement dans ce cas-ci, mais encore dans un mélange de deux autres nitrates, que la décomposition du second nitrate va commencer.

Si l'on agit sur une solution qui renferme proportionnellement une grande quantité de nitrate de cuivre, non-seulement le précipité métallique s'opère comme on vient de le dire, mais on voit encore dans la solution une quantité innombrable de petites parcelles métalliques en mouvement, paraissant concourir toutes à la transmission du courant, et indiquant par là le mode d'action du courant sur les molécules métalliques du composé.

En continuant à augmenter la quantité atomique du nitrate le moins décomposable, on arrive à un point où il y a un équivalent de cuivre et un équivalent d'argent de précipités ; cet effet ne peut s'opérer qu'autant que le courant est partagé en deux parties parfaitement égales, attendu que les équivalents des corps sont associés à des quantités égales d'électricité. Dans ce cas, la force qui unit l'oxigène et l'acide nitrique à un équivalent d'argent est la même que celle qui unit les deux mêmes corps à un équivalent de cuivre. Voilà un exemple de l'influence des masses pour diminuer l'action décomposante du courant sur le nitrate dont les parties sont réunies en vertu des moindres affinités ; mais cette influence n'est pas telle que la concevait Berthollet, qui considérait la mesure des affinités comme dépen-

dante de la masse des corps. Dans le cas qui nous occupe, si nous partons du point où il se trouve dans la dissolution un équivalent de nitrate d'argent et un équivalent de nitrate de cuivre, dès l'instant que le courant commence à fonctionner, son action se porte uniquement sur le nitrate d'argent. En augmentant le nombre d'équivalents du nitrate de cuivre, le courant conservant toujours son intensité, on affaiblit son action sur le nitrate d'argent, de sorte que l'on arrive à un terme où l'action de ce même courant pour le nitrate de cuivre est suffisante pour vaincre les affinités de l'oxigène et de l'acide nitrique pour le cuivre. Ainsi donc, en augmentant les masses, c'est-à-dire, en rapprochant les molécules du composé, on ne tarde pas à arriver au point où les affinités des deux éléments électro-négatifs pour les deux bases peuvent être vaincues par la même force; nous devons en conclure que dans ce cas les affinités de ces corps sont les mêmes. Cet effet est dû évidemment à l'influence des masses. De là il résulte, comme je l'ai déjà dit, que les forces qui unissent l'oxigène et l'acide nitrique à un équivalent d'argent, et les mêmes corps à un équivalent de cuivre, sont dans le rapport des masses nécessaires pour obtenir l'égalité de ces deux forces. Mais quel est ce rapport? C'est ce que nous ignorons encore.

L'influence des masses sur la décomposition électro-chimique se fait également sentir, comme on devait s'y attendre, quand on augmente la quantité absolue du nitrate le plus facilement décomposable, tout en conservant le rapport des équivalents. Dans ce cas, le rapport des équivalents nécessaire pour arriver au partage du courant en deux parties égales, change en même temps.

Il est à remarquer que l'influence des masses ne se fait sentir qu'autant que la quantité de liquide employée reste la même; car si elle augmente sous le même volume, le rapport des masses change en même temps, et les molécules ne sont plus à la même distance; et comme c'est la distance qui joue ici un grand rôle, il

s'ensuit que le rapport en question doit varier au fur et à mesure que l'on étend la solution.

Dans les expériences dont je viens de rendre compte, j'ai opéré ordinairement avec une pile à courant constant, composée de 10 éléments. Les résultats ont encore été les mêmes quand je me suis servi de piles composées d'un plus grand nombre d'éléments; mais on conçoit parfaitement qu'il ne faut pas dépasser une certaine limite d'intensité, si l'on veut observer les différents effets dont il a été question. Si le courant avait une trop grande intensité, alors les deux sels seraient réduits en même temps, et on manquerait le but proposé.

Dans toutes les expériences, j'ai eu deux buts : le premier, d'arriver au terme où le sel, dont les éléments sont réunis en vertu des plus fortes affinités, commence à être décomposé; le second, le terme où il faut employer la même force pour décomposer deux quantités atomiques des deux sels. On peut encore, si l'on veut, considérer les différents cas où l'on trouve sur les lames négatives un équivalent de l'un, pour 2, 3, 4, etc., équivalents de l'autre.

La 10e expérience nous apprend que, lorsque la solution renferme 1 partie de nitrate d'argent ($0^{s},1$) et 67 part. atom. de nitrate de cuivre hydraté, on obtient un équivalent d'argent et un équivalent de cuivre.

La 7e expérience nous indique que, pour 1 partie de nitrate d'argent et 86 de nitrate de cuivre, le précipité est composé de 1 part. atomique d'argent et de 2 parties atomiques de cuivre.

La 6e expérience montre que pour 1 partie atomique de nitrate d'argent et 100 parties de nitrate de cuivre, le précipité renferme 1 atome d'argent et 3 atomes de cuivre.

D'après la loi de M. Faraday, les forces qui produisent ces trois effets doivent être dans le rapport des nombres 1, 2 et 3; tandis que les masses qui représentent les quantités atomiques correspondantes de nitrate de cuivre sont à peu près comme 67 : 86 : 100.

Il ne reste plus maintenant qu'à déterminer la loi générale des proportions atomiques nécessaires pour obtenir le partage du courant en deux parties égales, quand les quantités absolues de chacun des deux nitrates sont quelconques. Cette détermination sera l'objet d'un travail particulier, travail qui n'est pas sans quelque difficulté, et qui demande même beaucoup de temps, en raison du grand nombre d'expériences qu'il exige. Les faits qui viennent d'être exposés indiquent, je crois, d'une manière certaine, que l'on peut arriver à déterminer le rapport des affinités des corps dans diverses circonstances, en suivant la marche indiquée. Ces mêmes faits nous montrent que l'on peut séparer les métaux les uns des autres, quand leurs dissolutions sont mélangées; car, si le rapport des masses des sels qui se trouvent dans un volume déterminé de la solution ne permet pas cette séparation, il suffit d'étendre plus ou moins d'eau la solution pour l'obtenir.

Il est bien démontré maintenant, non-seulement par ce qui précède, mais encore par l'ensemble des faits qui composent aujourd'hui le domaine de l'électro-chimie, que l'emploi des courants électriques, et l'étude de tous les phénomènes qui s'y rattachent, sont d'une grande importance pour la chimie. Jusqu'ici les chimistes se sont attachés particulièrement aux affinités, à la chaleur et à la lumière, et n'ont considéré l'électricité que comme une action secondaire dont ils se sont peu occupés; mais aujourd'hui il ne peut en être ainsi; ils ont entre les mains un moyen d'action trop puissant pour le négliger dans toutes les circonstances où il peut être employé.

En continuant les recherches précédentes, on verra si les nombres obtenus par M. Ed. Becquerel, pour les affinités de quelques corps, au moyen d'un autre procédé, sont les mêmes que ceux que je déterminerai ultérieurement.

Sur le retard qu'éprouve la décharge électrique dans des circuits fermés placés près du fil conjonctif d'une batterie ; par M. RIESS.

Désirant offrir au public toutes les découvertes qui ont été faites en électricité, jusqu'à la publication du dernier volume de mon ouvrage, je crois lui être agréable en insérant ici une lettre qui m'a été adressée par M. Riess, touchant le retard qu'éprouve la décharge électrique par la présence de circuits fermés dans le voisinage du fil conjonctif d'une batterie.

Berlin, 14 février 1840.

« Dans une série d'expériences sur le courant secondaire de la batterie électrique, je suis arrivé à une classe de phénomènes qui me paraissent remarquables, et qui se rattachent aux recherches que j'ai faites antérieurement sur l'échauffement dans le circuit de la batterie (1). En examinant l'échauffement produit par la décharge électrique dans une portion déterminée du circuit, nous avions trouvé cet échauffement dépendant du quotient $\frac{q}{z}$, où q désigne la quantité d'électricité employée, z l'intervalle de temps qui s'écoule pendant la décharge de la batterie (2). A la vérité, la lettre z représentait une fonction de plusieurs variables, déterminée empiriquement, à laquelle nous avons donné par hypothèse la signification mentionnée. Cette hypothèse fut fondée sur le rapport constant qui a lieu entre la

(1) *Voyez* la première section de ces Recherches, Annales de Chimie, t. LXIX, p. 113. La seconde section, présentée par M. de Humboldt à l'Institut, le 22 octobre 1838, n'a pas encore paru dans ces Annales. Elle se trouve, Poggendorff Annalen, t. XLV. page 1.

(2) Ann. de Chim., t. LXIX, p. 138.

quantité de chaleur dégagée dans un fil appartenant au circuit, et la conductibilité électrique de ce même fil; si je ne me trompe, elle est mise en évidence par les expériences que je vais décrire.

« En opérant toujours avec la même quantité d'électricité, nous n'avons pu faire varier jusqu'ici les effets de la décharge qu'en changeant ou la composition de la batterie, ou celle du fil conjonctif. J'ai trouvé depuis qu'on peut facilement diminuer l'échauffement dans le circuit sans changer les parties essentielles de l'appareil et sans mettre en jeu une nouvelle source d'électricité. J'avais introduit dans le fil conjonctif de la batterie un fil de platine [longueur 143‴,5 (1), rayon 0‴,014] enfermé dans la boule d'un thermomètre à air, ensuite un fil de cuivre (long. 12′8″, rayon 0‴,27) enroulé en spirale plane sur un disque de bois de 6″ de diamètre. Ces deux parties du fil conjonctif étaient placées à environ 4 pieds de distance de la batterie, et à 7 pieds de la machine électrique, afin qu'elles n'éprouvassent aucune influence de la part de la batterie ou de la machine. Appelons la spirale qui faisait constamment partie du fil conjonctif, spirale principale, et désignons par spirale secondaire une autre spirale, entièrement semblable à la première, mais isolée et à bouts libres, dont nous ferons usage séparément. L'expérience est relative à l'échauffement du fil de platine au thermomètre, ou, ce qui revient au même, l'indication du thermomètre qui est proportionnelle à cet échauffement. Pour avoir partout la même étendue de la batterie (désignée dans les tableaux par s) et la même quantité d'électricité (désignée par q), nous prendrons l'indication du thermomètre (θ), pour $q=1$ et $s=1$. Cette valeur de θ n'est pas observée, mais déduite des observations. Puisque les valeurs numériques absolues n'offrent ici aucun intérêt,

(1) L'auteur n'indique pas dans ce Mémoire la signification des signes ′, ″, ‴; il est probable que ce sont les pieds, pouces, lignes.

je n'ai déduit la valeur θ que de six observations simples, rapportées dans les tableaux.

« J'ai considéré d'abord l'échauffement du fil de platine sous trois conditions différentes : 1° lorsque la spirale principale était seule; 2° quand un disque de cuivre (rayon 3″5‴, épaisseur $\frac{1}{3}$‴) était placé parallèlement vis-à-vis d'elle, à une distance de 2‴ $\frac{1}{2}$; 3° quand le disque de cuivre était remplacé par la spirale secondaire, dont les bouts libres étaient réunis par deux fils de cuivre qui avaient ensemble une longueur de 3′ 8″. Les boules de la bouteille-électromètre qui mesurait la quantité d'électricité employée, étaient placées à une distance d'une demi-ligne l'une de l'autre.

NOMBRE des jarres s	QUANTITÉ d'électricité q	SPIRALE PRINCIP. SEULE. Indication θ du thermomètre.	AVEC LE DISQUE DE CUIVRE. Indication θ du thermomètre.	AVEC LA SPIRALE SECONDAIRE. Indication θ du thermomètre.
4	8	6,7	7,0	7,1
	10	10,8	10,2	10,4
	12	15,5	14,2	15,4
5	10	8,8	8,6	8,6
	12	12,7	12,4	12,0
	14	16,9	14,5	16,0
		$\theta = 0{,}43\,\frac{q^2}{s}$	$\theta = 0{,}41\,\frac{q^2}{s}$	$\theta = 0{,}42\,\frac{q^2}{s}$

« On voit que l'échauffement du fil de platine pour l'unité de charge (0,43; 0,41; 0,42) a été à peu près le même dans les trois séries d'observations. Comme je l'ai fait voir ailleurs (1), un courant électrique secondaire

(1) Poggendorff Annalen, t. XLVII, p. 55.

qui a la même direction que la décharge de la batterie, circulait et dans le disque de cuivre, et dans la spirale secondaire. Ce courant, qui n'affecte nullement un électromètre se trouvant dans le circuit, est rendu visible quand on forme une interruption de 0''',2 dans le fil qui joint les extrémités de la spirale secondaire. Une vive étincelle passe alors entre les bouts du fil, sans que l'échauffement dans le fil conjonctif de la batterie soit altéré. Ce fait s'explique facilement par l'expérience antérieure, qu'un courant secondaire ne peut se former que dans le cas où il peut circuler, ce que le fil conjonctif de la batterie ne lui permet pas. Les observations rapportées prouvent directement que le courant secondaire n'excite pas un nouveau courant dans le fil conjonctif. Il résulte de là les conséquences suivantes :

« *Lorsqu'une quantité d'électricité accumulée dans la batterie et déchargée par un fil quelconque, fait naître un courant d'induction dans un conducteur voisin, cette quantité n'y est pas diminuée ni augmentée.*

« S'il est vrai que la conductibilité affaiblie d'un circuit quelconque regarde le temps de la décharge dans ce circuit (ce que nous avons supposé ailleurs), la décharge de la batterie dépendra en quelque sorte des conducteurs que le courant secondaire parcourt. Si les conducteurs du courant secondaire sont meilleurs que ceux de la décharge, celle-ci ne pourra pas en être modifiée. Car la décharge s'opérant par des impulsions consécutives, trouvera toujours auprès d'elle le circuit voisin dans l'état naturel. Si, au contraire, les conducteurs du courant secondaire sont moins parfaits que ceux de la décharge, une impulsion suivante de la décharge arrivera avant que le courant partiel, excité par l'impulsion précédente, soit détruit; par conséquent la décharge aura près d'elle, pendant toute sa durée, un fil traversé par un courant qui a, comme nous l'avons dit plus haut, la même direction qu'elle-même. Dans ce cas, deux courants dirigés dans le même sens

se trouvent en présence l'un de l'autre, et la vitesse du courant le plus rapide doit en être ralentie. Si nous admettons ces suppositions, il s'ensuit que l'échauffement dans le fil conjonctif de la batterie doit être diminué d'autant plus que la conductibilité du circuit accessoire est moindre ; ce qui est démontré par les expériences suivantes.

« La spirale secondaire ayant été placée devant la spirale principale, à la distance de 5 lignes, les fils libres de la première ne furent pas liés ensemble comme auparavant, mais ils communiquaient par un fil de platine de 138 lignes de longueur, et $0''',023$ de rayon. Le tableau suivant montre la diminution évidente de l'échauffement dans le fil conjonctif résultant de cette disposition ; les observations furent répétées après que la spirale secondaire fut approchée de la principale à la distance de $2''' \frac{1}{2}$.

NOMBRE des jarres s	QUANTITÉ d'électricité q	DISTANCE DES DEUX SPIRALES $5'''$. Indication θ du therm.	DISTANCE DES DEUX SPIRALES $2''' \frac{1}{2}$. Indication θ du therm.
4	8	5,2	4,7
	10	8,3	7,1
	12	10,7	9
5	10	6,5	5,5
	12	9,5	7,7
	14	11,8	10,3
		$\theta = 0{,}32 \frac{q^2}{s}$.	$\theta = 0{,}32 \frac{q^2}{s}$

« On voit que, sans aucune modification de la batterie ou du fil conjonctif, l'échauffement dans le fil

conjonctif a baissé de 0,43 à 0,32 et 0,27 ; on voit de plus que la spirale secondaire restant à sa place, l'échauffement a été porté de 0,43 à 0,27, par la seule insertion d'un petit fil de platine entre les extrémités de la spirale. On peut pousser la diminution de l'échauffement beaucoup plus loin. Je rapporte encore une série d'observations où la spirale secondaire se trouvait à $2''' \frac{1}{2}$ de distance de la spirale principale, ses extrémités libres étant mises en communication par un fil de packfong de 38,3 pouces de longueur et de $\frac{1}{12}'''$ d'épaisseur.

NOMBRE des jarres s	QUANTITÉ d'électricité q	LA SPIRALE SECONDAIRE fermée par un fil de *packfong*. Indicat. θ du thermomètre.
4	10	4,8
	12	6,4
	14	8,0
5	12	4,6
	14	6,9
	16	8,7
		$\theta = 0{,}17 \frac{q^2}{s}$.

« Le fil de *packfong* dans la spirale secondaire a donc diminué l'échauffement du fil conjonctif de la batterie dans le rapport de 0,42 à 0,27 (1); en se servant d'un fil plus long et plus mince, on pourra sans doute rendre l'échauffement tout à fait inappréciable.

« Pour faciliter la répétition de ce genre d'expé-

(1) Cette diminution considérable répond à la conductibilité très-imparfaite du *packfong* (8,86, la conductibilité du cuivre étant 100), que j'ai évaluée par des expériences directes. Poggendorff Annal., t. XLV, p 20.

riences, je les ai modifiées en supprimant la spirale secondaire. Dans ce cas, on peut se dispenser de plier la spirale principale d'une manière régulière. Je plaçai à une petite distance, devant la spirale principale, deux carreaux de verre (longs et larges de 8 pouces), et j'interposai entre eux des feuilles minces d'étain. Le tableau qui suit montre l'influence de cet arrangement sur l'échauffement dans le fil conjonctif; la troisième série est faite avec du papier enduit d'étain, qu'on vend en Allemagne sous le nom de papier argenté.

NOMBRE des jarres. s	QUANTITÉ d'électricité q.	ENTRE LES CARREAUX		
		DEUX FEUILLES D'ÉTAIN, épaiss. $0'''{,}0268$.	UNE FEUILLE D'ÉTAIN, épaiss. $0'''{,}01$	UNE FEUILLE DE PAPIER enduit d'étain.
		Indicat. 0 du therm.	Indicat. 0 du therm.	Indicat. 0 du therm.
4	8	5,6	6,5	»
	10	8,0	6,0	4,7
	12	10,5	8,0	6,3
	14	»	»	8,8
5	10	6,5	4,6	»
	12	9,0	6,4	5,3
	14	12,0	8,0	6,6
	16	»	»	9,0
		$\theta = 0{,}32\,\frac{q^2}{s}$.	$\theta = 0{,}22\,\frac{q^2}{s}$.	$\theta = 0{,}18\,\frac{q^2}{s}$.

« L'échauffement dans le fil conjonctif sans l'appareil accessoire, a été trouvé de 0,42. On voit que cette valeur a été réduite à 0,18 par le voisinage de la couche mince d'étain qui se trouvait sur le papier.

« On tire de ces expériences la conclusion suivante :

« *Lorsque la décharge de la batterie électrique fait naître un courant secondaire dans un circuit voisin, qui jouit d'une conductibilité inférieure à celle du fil conjonctif de la batterie, la décharge est d'autant*

plus retardée, que la conductibilité du circuit accessoire est moindre. »

Pour compléter le travail de M. Riess, je donnerai le résumé des recherches que ce jeune physicien a faites sur l'échauffement d'un fil de métal par la décharge de la batterie électrique.

« Tous les savants qui se sont occupés de l'échauffement d'un fil métallique au moyen de l'électricité, soit de la batterie électrique, soit de la pile voltaïque, ont supposé d'une manière plus ou moins claire une relation directe entre l'élévation de température du fil et la résistance que ce fil oppose au passage du fluide électrique. Cette résistance dépend de trois variables : de la longueur (λ), du rayon (ρ) du fil, et d'une certaine quantité x dépendante du métal dont le fil est fait. Ces variables entrent dans l'expression de la résistance de la manière suivante : $\frac{x\lambda}{\rho^2}$, où x est réciproque à la valeur empiriquement déterminée de la conductibilité électrique du métal. Par un grand nombre d'expériences décrites avec détails dans les Annales de Poggendorff, t. XLV, p. 1, je me suis assuré que la relation supposée entre l'échauffement et la résistance d'un fil n'existe pas. L'élévation de température qu'un fil de métal éprouve par une décharge électrique constante, ne dépend pas de la résistance du fil, mais d'une fonction qui contient le rayon du fil, la conductibilité électrique, la pesanteur spécifique, et la chaleur spécifique du métal dont il est fait.

« J'ai déduit d'expériences en apparence compliquées les formules générales sur l'échauffement électrique. Qu'on s'imagine des fils quelconques soudés bout à bout, qui composent le fil conjonctif constant de la batterie, et qu'on y ajoute un fil quelconque, on pourra varier les expériences sur l'échauffement de ces fils par la décharge de la batterie de deux manières différentes. Premièrement on laisse le fil ajouté constant, et on examine l'échauffement de chacun des autres fils du

circuit ; secondement, on n'examine que l'échauffement d'un fil déterminé, mais en variant le fil ajouté. J'ai en outre varié la surface de la batterie et la quantité d'électricité qu'on y a accumulée. Toutes ces expériences diverses peuvent être embrassées par une seule formule : soient T, l'élévation de température d'un fil dont l est la longueur et r le rayon, C la chaleur spécifique de son métal, g la pesanteur spécifique, et x' sa force retardatrice (égale à la valeur réciproque de sa conductibilité électrique); qu'on ajoute au fil conjonctif composé, un fil de la longueur λ, ayant pour rayon ρ d'une force retardatrice x; soient enfin la surface de la batterie désignée par s, et sa quantité d'électricité par q; on aura :

$$T = \frac{a\,x'}{r^4\,C\,g}\left(\frac{1}{1+\frac{b\lambda x}{\rho^2}}\right)\frac{q^2}{s} \quad \ldots\ldots \text{(I)}$$

où a et b sont deux constantes déterminées par des expériences préalables. Dans cette formule tout à fait empirique, on distingue deux termes différents : le terme $\frac{a\,x'}{r^4\,C\,g}$, qui donne l'échauffement du fil examiné, tout le fil conjonctif restant constant, et le terme $-\frac{b\lambda x}{\rho^2}$, qui exprime la variation que cet échauffement éprouve par l'introduction du fil accessoire. En suivant l'analogie, on peut regarder cette variation comme résultant d'un retard de la décharge de la batterie ; d'après cela, le terme $\frac{b\,x\,\lambda}{\rho^2}$ sera le retard produit par le fil ajouté, et la quantité x la force retardatrice de son métal. En multipliant les deux membres de l'équation (I) par $l\,r^2\,C\,g$, on obtient, pour la quantité de chaleur W qui est développée dans le fil examiné, l'expression très-simple :

$$W = \frac{a\,l\,x'}{r^2}\left(\frac{1}{1+\frac{b\lambda x}{\rho^2}}\right)\frac{q^2}{s} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(II)}$$

« De là on tire la conclusion :

« *Les quantités de chaleur développées dans les fils divers qui composent le fil conjonctif, sont proportionnelles aux retards que ces mêmes fils produiraient dans une décharge quelconque, si on les ajoutait un à un et isolément à un autre fil conjonctif.*

« On peut appliquer les deux équations au cas qui se présente le plus souvent, où l'on se sert d'un fil unique pour opérer la décharge de la batterie. L'élévation de température T, dans un fil de métal de la longueur λ, du rayon ρ, si x désigne la force retardatrice, C la chaleur spécifique, g la pesanteur spécifique de son métal, s la surface de la batterie, q la quantité d'électricité accumulée, se trouve :

$$T = \frac{a}{\rho^2 C g}\cdot\frac{1}{\frac{\rho^2}{x}+b\lambda}\cdot\frac{q^2}{s}\ldots\ldots\ldots \text{(III)}.$$

La quantité de chaleur développée, ou la quantité de glace fondue par le fil, est donnée par l'équation :

$$W = \frac{a'}{\frac{\rho^2}{x\lambda}+b}\cdot\frac{q^2}{s}\ldots\ldots\ldots \text{(IV)}.$$

On déduit de la dernière équation une signification intéressante des valeurs numériques de la quantité x pour des métaux divers. Il est facile de voir que cette équation reste constante pour tous les métaux, lorsqu'on ne prend pour variables que les quantités x et λ, et qu'on fait varier λ en raison inverse de x. Par des

expériences citées plus haut, j'ai obtenu pour $\frac{1}{x}$ les valeurs qui suivent :

Valeurs de $\frac{1}{x}$ à la température 15° C :

Argent,	148,74
Cuivre,	100,
Or,	88,87
Cadmium,	38,35
Laiton,	27,70
Palladium,	18,18
Fer,	17,66
Platine,	15,52
Étain,	14,70
Nickel,	13,15
Plomb,	10,32
Packfong,	8,86

« D'après ce qui a été dit, ce tableau indique les longueurs de fils de diamètre égal, qui, échauffés par la décharge de la batterie électrique, dégageront la même quantité de chaleur. Par exemple, quand on décharge une batterie électrique toujours également chargée, ou par un fil d'argent de 148,7 pouces de longueur, ou par un fil d'or de 88,8 po., ou par un fil de platine de 15,5 po., ou par un fil de packfong de 8,8 po. de longueur, ces fils d'égal diamètre éprouveront une augmentation de température très-différente ; mais lorsqu'on les suppose environnés de glace après la décharge, ils en feront fondre d'égales quantités en revenant à leur température primitive. »

ADDITION

AU § VI DU CHAPITRE II, LIVRE XVII,

SUR LES ORAGES.

L'impression de ce volume était terminée quand j'eus connaissance d'une lettre sur les orages en mer, adressée par M. le capitaine Duperrey à M. Arago; cette lettre renfermant des détails intéressants, et qui auraient dû prendre place à la suite du § VI du chap. II, liv. XVII, j'ai prié M. Duperrey de vouloir bien me permettre de l'insérer à la fin du volume. Ayant obtenu son autorisation, je la donne ici *in extenso*.

Lettre de M. Duperrey à M. Arago.

Paris, 21 septembre 1838.

La lecture de votre intéressante notice sur le *tonnerre* (1) a rappelé à mon souvenir divers faits rares dont j'ai eu le bonheur d'être le témoin, et que, pour cette raison, je regrette beaucoup de ne pas avoir réunis à ceux que j'ai déjà eu l'honneur de vous communiquer.

(1) Insérée dans l'*Annuaire du bureau des longitudes pour* 1838.

Vous dites, pag. 233, que n'étant pas découragé par l'assertion de Saussure, vous vous êtes mis à chercher dans de vieux recueils météorologiques si les petits nuages isolés ne produisent jamais ni *éclairs*, ni *tonnerre*. Voici, à cette occasion, ce que je trouve inséré dans la minute du journal que je tenais à bord de la corvette *l'Uranie*, et dont j'ai donné une copie à M. de Freycinet, à l'époque de notre retour en France :

« Étant dans le détroit d'Ombay, en novembre 1818, nous vîmes, un soir, un petit nuage blanc qui lançait la foudre de tous les côtés. Il montait avec lenteur malgré la force du vent, et se trouvait à une grande distance de tous les autres nuages, qui paraissaient comme fixés à l'horizon. »

Voici ce que ma mémoire me permet d'ajouter à ce peu de mots. Le nuage dont il s'agit était d'une forme arrondie et pouvait occuper en surface une étendue égale à la surface apparente du soleil. De tous les points de ce nuage s'échappaient des éclairs en zigzag, et une multitude de détonations successives imitaient parfaitement le bruit de la mousqueterie de tout un bataillon auquel on aurait commandé de faire feu à volonté. Ce phénomène, que je n'ai vu qu'une seule fois dans ma vie, ne dura pas moins d'une demi-minute, et le nuage disparut complétement avec les dernières détonations. J'ignore le motif qui a pu déterminer M. de Freycinet à ne pas mentionner cette observation qu'il a dû trouver dans la copie du journal que j'ai déposée entre ses mains.

Je dois ajouter ici que, dans le même détroit, nous avons aperçu bon nombre de globes très-lumineux, traversant l'atmosphère dans toutes les directions; que le tonnerre s'est souvent fait entendre, comme cela, d'ailleurs, est ordinaire dans l'archipel d'Asie, mais qu'aussi nous avons éprouvé l'effet d'un tourbillon de vent qui, par sa force et le bruit extraordinaire qu'il faisait, nous obligea à carguer toutes les voiles. Ce dernier phénomène fut de peu de durée, et il se manifesta par un temps magnifique et sous un ciel extrêmement pur.

Voici actuellement un fait qui vient à l'appui de ce que vous avez annoncé, pag. 345, à l'occasion de l'effet produit par les détonations de la foudre sur la marche des chronomètres. Je le puise dans la partie hydrographique du Voyage de *la Coquille*, pag. 19; mais je le reproduis ici, en lui donnant plus de développements.

Ainsi qu'on a pu le voir dans l'ouvrage cité, les montres marines dont nous étions munis avaient été réglées à Amboine, et leur marche diurne avait été fixée le 27 octobre 1823, de la manière suivante :

N° 118	de Louis Berthaud	— 5″, 3
N° 160	id.	— 26, 2
N° 26	de Motel	+ 10, 1

En partant d'Amboine pour nous rendre au Port-Jackson, je dirigeai la corvette de manière à prendre connaissance de Timor et des îles Savu. Dans ce premier trajet, et notamment en vue de Timor, de fréquents orages, dans lesquels la foudre éclatait souvent avec un fracas extrême auprès du bâtiment, sont venus nous assaillir. La conséquence de ces orages est qu'à notre arrivée auprès des îles Savu, dont la différence en longitude avec Amboine avait été exactement déterminée, en 1792, dans le voyage de d'Entrecasteaux, aucune de nos montres ne s'est trouvée en état d'en fixer la position; leur marche diurne observée à Amboine n'était plus la même. Ces montres qui, jusqu'alors, nous avaient habitués à compter sur la longitude à moins de 5′ de degré près, étaient en erreur, aux îles Savu, de 15 à 40′, et plus tard, à notre arrivée au Port-Jackson, elles nous ont placés à plus de 40 lieues dans l'intérieur de la Nouvelle-Hollande.

Réglées pendant notre séjour au Port-Jackson, voici quelle a été leur nouvelle marche diurne, le 19 janvier 1824 :

N° 118	+ 7″, 0
N° 160	— 18, 7
N° 26	+ 27, 6

c'est-à-dire, qu'elles ont toutes trois accéléré leur mouvement; et comme cette nouvelle marche diurne donne avec exactitude la différence en longitude qui existe entre Savu et le Port-Jackson, nous ne pouvons attribuer le changement survenu dans leur marche observée à Amboine, qu'aux violents orages qui, dans les parages de Timor, ont été si bruyants et si multipliés autour de la corvette.

Je n'ai jamais été témoin des effets de la foudre sur les aiguilles des boussoles, mais je n'en conseille pas moins aux navigateurs d'avoir une boussole d'inclinaison, et de la mettre en expérience immédiatement après le choc de la foudre sur le navire. L'on sait qu'en tournant l'instrument jusqu'à ce que l'inclinaison de l'aiguille soit un *minima*, on a dans la pointe qui plonge sous l'horizon la direction de celui des deux pôles qui est toujours de même dénomination que la latitude magnétique du lieu de l'observateur. Cette observation, à laquelle j'ai souvent eu recours durant le voyage de *la Coquille*, est indispensable lorsque le ciel reste longtemps couvert après l'orage, et que l'on se trouve auprès d'une côte ou au milieu des îles d'un archipel.

Je trouve dans les *Tableaux des routes de la corvette* LA COQUILLE, etc., que j'ai publiés en 1829, un exemple de la distance extraordinaire à laquelle on peut apercevoir la lueur des éclairs. Ce fait, que je croyais vous avoir communiqué, vient naturellement s'ajouter à ceux du même genre dont vous avez si bien expliqué la cause, pag. 428 et suiv. de votre notice.

Dans la soirée du 6 mars 1823, étant entre les parallèles de Lima et de Truxillo, et à environ 30 lieues dans l'ouest de la côte, nous vîmes des éclairs très-brillants dans l'est et le nord-est, au terme de l'horizon. Le vent était au sud-sud-est, le temps magnifique et le ciel

d'une pureté remarquable. Le tonnerre ne se fit point entendre. L'on sait, en effet, depuis longtemps, qu'il ne tonne jamais sur les côtes du bas Pérou, mais l'on sait aussi, d'après don Antonio de Ulloa, qu'il n'en est pas ainsi à 30 lieues dans l'intérieur de cette contrée. Il est donc permis d'admettre que les éclairs dont nous avons vu la lueur dans notre atmosphère de *la Coquille* avaient pris naissance au milieu de nuages orageux situés à 60 lieues de distance.

Voici un événement occasionné par le tonnerre, dont je n'ai pas été témoin, mais dont je puis garantir l'authenticité. La corvette *la Coquille*, dont je pris le commandement en 1821, n'avait été employée jusqu'à cette époque que comme transport de l'État, et, à ce titre, l'administration n'avait pas jugé à propos de la munir d'une chaîne de paratonnerre. Ce bâtiment était au mouillage dans le golfe de Naples, lorsqu'un jour la foudre tomba à bord sans toucher à la mâture, et pénétra dans la cale, d'où elle ne sortit qu'après s'être fait jour à travers les bordages de la partie submergée de la carène. La voie d'eau était tellement considérable, qu'il en serait résulté la perte du navire, si, au signal de détresse qui fut immédiatement arboré, les embarcations du port de Naples, auxquelles se réunirent tous les bateaux qui étaient occupés à la pêche, n'étaient venues avec célérité la prendre à la remorque et la conduire au rivage où il était grand temps qu'on l'échouât.

Vous avez signalé, pag. 403, deux questions auxquelles je suis plus honoré d'avoir à répondre que satisfait de la réponse que j'ai à vous adresser.

Si j'examine l'ensemble des matériaux que nous possédons sur la matière en question, je suis porté à admettre avec vous que les orages sont moins fréquents en mer que sur terre; qu'en conséquence, il pourrait y avoir à toute distance des îles et des continents, des lieux où il ne tonnerait jamais. Mais je vois aussi qu'il existe des anomalies qui viennent modifier toutes mes

prévisions, et contre lesquelles j'ai besoin de me tenir en garde.

Un navigateur, qui part des îles Moluques ou des îles de la Sonde, où le tonnerre se fait entendre, pour ainsi dire, tous les jours de l'année, doit naturellement se trouver fort à son aise dès qu'il s'éloigne de ces îles assourdissantes; mais un habitant de Lima, qui aurait eu la fantaisie de nous accompagner jusqu'aux îles de la Société, aurait éprouvé une impression toute contraire, car il aurait entendu, pour la première fois de sa vie, éclater la foudre pendant trois jours consécutifs, alors que nous étions à 600 lieues du Pérou, à 600 lieues à l'est de Taïti, et à près de 230 lieues dans le nord-nord-ouest de la petite île de Pâques.

Il résulte de vos nombreuses recherches qu'il ne tonne pas dans les régions glaciales de notre hémisphère; je pense qu'il en est ainsi dans les régions glaciales de l'hémisphère opposé, à moins d'être autorisé par le dictionnaire synonymique de Laveaux à prendre le mot *orage* dans sa véritable acception, auquel cas le tonnerre aurait été entendu par Cook, le 23 février 1773, étant par 61° 52′ lat. S., et 93° long. E.

« Je fis, dit ce célèbre navigateur, de petites bordées pendant la nuit, qui était extrêmement orageuse. »

L'on sait que plusieurs hommes de l'équipage de l'amiral Anson furent grièvement blessés par la foudre à bord du *Centurion*, étant au large et dans l'ouest du détroit de Magellan; néanmoins, je crois pouvoir déduire des voyages de Cook, de Bellingshausen et de celui de *l'Uranie*, qu'il ne tonne pas sur le parallèle du cap Horn, au milieu du grand Océan austral, où se trouve le point le plus éloigné de toute terre; ce point est à environ 560 lieues de l'île O-Paro, de l'île Antipode, de l'île de Pâques et des îles de Pierre Ier et d'Alexandre Ier.

J'ai la presque certitude qu'il ne tonne que bien rarement sur la route qui conduit en ligne droite du cap de Bonne-Espérance aux îles Sainte-Hélène et de l'Ascension. Ici la mer aurait cela de commun avec l'île Sainte-

Hélène, où l'on peut affirmer que la cendre de Napoléon ne sera jamais troublée par la foudre. Mais il n'en est pas de même de toutes les autres parties de l'océan Atlantique, du grand Océan, et de la mer des Indes comprise dans les régions tempérées.

Il tonne à 240 lieues dans l'est des côtes du Brésil et de la Patagonie ; il tonne sous la ligne équinoxiale, entre l'Afrique et l'Amérique. Le point le plus isolé dans l'océan Atlantique boréal est par 25° nord et 46° ouest ; il est à 380 lieues des Antilles, de la Guyane, des îles du cap Vert, des Açores et des Bermudes : il y tonne. La foudre et les éclairs se manifestent également à 200 et 240 lieues au sud du cap de Bonne-Espérance, de la Nouvelle-Hollande, de la Nouvelle-Zélande et de l'île de Pâques. Et si nous consultons les voyages de la Pérouse, de Dixon, de Mears et de M. de Freycinet, nous retrouvons les mêmes phénomènes, non moins brillants que partout ailleurs, non-seulement à près de 250 lieues au nord-est des îles Mariannes, comme à plus de 300 lieues au nord des îles Sandwich, mais encore par 40° latit. nord et 180° de longit., précisément dans la partie centrale du grand Océan boréal, où l'on se trouve à toute distance du Japon, des îles Aleutiennes et de la côte nord-ouest de l'Amérique septentrionale. Je dis à toute distance, parce qu'il n'existe pas sur le globe, en y comprenant même les régions glaciales, un seul point de la surface de la mer qui soit à plus de 600 lieues de toute terre, et que les lieux dont je viens de parler, sur lesquels les navigateurs semblent s'être donné le mot pour y voir briller la foudre, sont à peu près à cette distance des grandes terres environnantes.

Remarquons, avant de terminer, que les navigateurs dont les observations nous sont parvenues, sont d'autant moins nombreux, que la plupart nous laissent dans l'incertitude de savoir ce qu'il faut penser des *violents orages*, des *temps orageux* dont ils ont si souvent l'occasion de parler, quel que soit le lieu où ils se trouvent. La question de savoir ce que les marins en-

tendent par *orage* n'est pas facile à résoudre; voici néanmoins un passage de Dixon qui semble devoir nous éclairer. Ce navigateur, en s'éloignant de Nootka, s'exprime ainsi :

« Le 26 septembre 1786, vers 3 heures du matin, « nous eûmes un orage très-fort et une grosse pluie; « les coups de tonnerre étaient affreux, les éclairs si « fréquents et si vifs, que ceux qui étaient sur le pont « en furent aveuglés pour un temps considérable; cha- « que éclair laissait après lui une odeur de soufre très- « désagréable . . . . . L'orage s'apaisa « vers 6 heures du matin. »

Il est bien évident que si le tonnerre et les éclairs avaient été plus modérés, Dixon n'en aurait rien dit, et nous serions encore à savoir ce qu'il entendait par *orage*.

Mais voici des passages extraits des voyages du capitaine Mears, qui nous laissent dans le doute. Le capitaine Mears, commandant *la Félice*, se rendant de Sam-Boingan à la côte nord-ouest d'Amérique, éprouva de *violents orages*.

« Le temps, dit-il, continua d'être orageux jusqu'au « 17 avril, que le vent sauta à l'est-sud-est, et souffla « avec plus de violence encore. »

Plus loin il ajoute : « Le matin du 24, le vent tourna « au sud et à l'est, présage certain d'un temps orageux. « A midi, il souffla si violemment, que nous fûmes obli- « gés de ferler toutes nos voiles, et jusqu'à 3 heures « de l'après-midi nous eûmes à souffrir de l'ouragan « le plus rude que nous puissions nous souvenir d'avoir « jamais essuyé. Les oiseaux nous avaient abandonnés « dès le commencement de l'orage. »

De tous les voyages (et je ne parle ici que des voyages maritimes), je ne vois réellement que ceux de Dampier, de Cook, de la Pérouse, de Dixon, de Vancouver, de la corvette *l'Uranie*, et peut-être aussi celui de *la Coquille*, dans lesquels on ait tenu compte assez régulièrement des apparitions du phénomène qui nous occupe. Je ne citerai pas ceux qui n'en disent presque rien;

mais je ne puis m'empêcher de faire ici une remarque imitée de celle que vous avez fait parvenir à son adresse, pag. 404 de votre notice : c'est que le capitaine Lutké, commandant la corvette russe *le Seniavine*, étant venu prendre ses instructions scientifiques à Londres, en 1826, au début de son voyage autour du monde, se trouve être dans le même cas que le météorologiste de la Société royale. Il s'est donné, comme lui, la peine d'exprimer par des signes particuliers tous les mots de la science en question, et malheureusement le sort veut que les mots *tonnerre* et *éclairs* soient précisément ceux qu'il a oubliés.

Pour en finir, je dirai donc qu'il existe en plein Océan des parages où il ne tonne jamais, quelle que soit leur distance de la terre.

Quant à savoir s'il en est des régions tempérées comme de la zone torride, où les orages sont presque toujours d'autant moins fréquents que l'on s'éloigne des terres, je crois que la question est difficile à résoudre, en raison, non-seulement du trop petit nombre de voyageurs que nous pouvons consulter, mais encore du hasard qui ferait que chaque navigateur se serait trouvé, à point nommé, en un point quelconque de la mer, l'un des 20 jours de l'année, terme moyen des jours de tonnerre observés dans les continents.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE DU VIe VOLUME.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA PREMIÈRE PARTIE DU SIXIÈME VOLUME.

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ.

ÉLECTRICITÉ NATURELLE. — PREMIÈRE PARTIE.

LIVRE XV.

DE LA MESURE DES TEMPÉRATURES.

CHAPITRE PREMIER.

PROCÉDÉS THERMO-ÉLECTRIQUES POUR ÉTUDIER LE DÉGAGEMENT DE LA CHALEUR DANS LE FROTTEMENT DES CORPS.

Pages.

§ I. Exposé des procédés..... 1
§ II. Expériences préliminaires..... 4
§ III. Chaleur dégagée dans le frottement de différents corps l'un contre l'autre..... 12

CHAPITRE II.

DE LA MESURE DE LA TEMPÉRATURE DES LACS ET DE LA MER A DIVERSES PROFONDEURS..... 16

CHAPITRE III.

DE LA DÉTERMINATION DE LA TEMPÉRATURE DES TISSUS ET DES LIQUIDES ANIMAUX.

§ I. Considérations générales..... 20

Pages.

§ II. De la température de l'homme et du chien dans les plaines et dans les montagnes..... 21
§ III. De la différence qui existe entre la température du sang artériel et celle du sang veineux..... 23
§ IV. Modifications apportées dans le procédé thermo-électrique destiné à mesurer la température des tissus organiques du corps de l'homme et des animaux..... 27
§ V. Détermination de la température dans divers cas pathologiques..... 37

CHAPITRE IV.

DE LA MESURE DE LA CHALEUR DANS LES VÉGÉTAUX.

§ I. Considérations générales..... 40
§ II. Des procédés d'expérimentation..... 44
§ III. De la chaleur des fleurs..... 46

LIVRE XVI.

ÉLECTRO-CHIMIE. — ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

CHAPITRE PREMIER.

INFLUENCE DES CORPS DISSOUS SUR LA DÉCOMPOSITION DE L'EAU; DU RAPPORT DES AFFINITÉS..... 48

CHAPITRE II.

DE L'EMPLOI DES EFFETS ÉLECTRO-CHIMIQUES POUR ÉTUDIER LES CHANGEMENTS OPÉRÉS DANS LES CORPS SOUS L'INFLUENCE DE LA LUMIÈRE.

§ I. Procédé d'expérimentation et recherches préliminaires. 56
§ II. Effets électriques produits dans la réaction du brôme sur l'argent, ainsi que dans la décomposition du chlorure, du bromure, de l'iodure d'argent sous l'influence solaire. 63
§ III. Des effets électriques produits dans le contact de deux lames de platine et de deux dissolutions différentes superposées l'une sur l'autre sous l'influence de la lumière. 70
§ IV. De la radiation atmosphérique..... 80

CHAPITRE III.

DES VARIATIONS DU POUVOIR D'UNE BATTERIE VOLTAÏQUE FAIBLEMENT CHARGÉE, EN RAISON DES CHANGEMENTS DE TEMPÉRATURE DE L'ATMOSPHÈRE..... 82

CHAPITRE IV.

Pages.

DE LA FORMATION DE QUELQUES COMPOSÉS A L'AIDE DE PILES D'UNE CONSTRUCTION PARTICULIÈRE..... 86

CHAPITRE V.

MÉTAUX OBTENUS CRISTALLISÉS A L'AIDE DE FAIBLES COURANTS ÉLECTRIQUES FONCTIONNANT PENDANT LONGTEMPS..... 92

CHAPITRE VI.

DESCRIPTION ET USAGE DE LA MACHINE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE DE M. CLARKE..... 95

CHAPITRE VII.

MACHINE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE ROTATIVE.

§ I. Description de l'appareil de M. Jacobi..... 100
§ II. Application à la navigation de l'appareil électro-magnétique à mouvement rotatoire continu..... 108
§ III. Aimants électriques en fil de fer..... 110

CHAPITRE VIII.

DIVERSES APPLICATIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ I. Procédé pour obtenir des copies en relief et en creux. 113
§ II. Éclairage au gaz produit par l'action voltaïque..... 116

LIVRE XVII.

DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

DES PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX DE LA FOUDRE.

§ I. Signes précurseurs de l'orage..... 117
§ II. Des différentes espèces d'éclairs..... 123
§ III. Procédé pour apprécier la durée d'un éclair de la première ou de la seconde classe..... 127
§ IV. Des nuages orageux qui sont constamment lumineux. 129

CHAPITRE II.

DU TONNERRE.

§ I. Durée du roulement du tonnerre..... 132

Pages.
§ II. De diverses questions relatives au rapport des éclairs avec le tonnerre..... 133
§ III. Des effets qui accompagnent la chute de la foudre... 135
§ IV. De quelques signes précurseurs des orages non mentionnés..... 140
§ V. Des causes locales qui influent sur la production des orages, et de la géographie des orages..... 146
§ VI. Examen de plusieurs questions relatives aux coups de tonnerre..... 153
§ VII. Réflexions relatives aux observations précédentes... 157
§ VIII. Du roulement du tonnerre, de ses éclats, etc..... 162
§ IX. Des paratonnerres..... 167

CHAPITRE III.

DE L'ÉLECTRICITÉ NÉGATIVE DE L'EAU DES CASCADES..... 170

CHAPITRE IV.

DES TROMBES EN GÉNÉRAL, ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LA FOUDRE.

§ I. Description du phénomène..... 173
§ II. Explication des trombes..... 182

CHAPITRE V.

DES AURORES BORÉALES.

§ I. Description du phénomène..... 200
§ II. Des diverses théories imaginées pour expliquer les aurores boréales..... 210

LIVRE XVIII.

DE L'ÉLECTRICITÉ ANIMALE ET DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES CORPS ORGANISÉS.

CHAPITRE PREMIER.

DU COURANT PROPRE DE LA GRENOUILLE.

§ I. Du degré de sensibilité des diverses parties des nerfs, à partir de leur origine..... 223
§ II. Des différentes parties du corps de la grenouille qui développent le courant propre, et des propriétés de ce courant..... 225
§ III. Des causes qui modifient le courant de la grenouille. 228
§ IV. De la cause du courant de la grenouille..... 229

Pages.

§ V. Des contractions et des sensations produites dans les animaux par l'effet du courant électrique..... 231
§ VI. Application de l'électricité au tétanos..... 234

CHAPITRE II.

NOUVELLES RECHERCHES SUR LES PHÉNOMÈNES DE LA TORPILLE. 237

Recherches sur les propriétés chimiques de la torpille.. 244

CHAPITRE III.

INFLUENCE DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LE MOUVEMENT DE CERTAINES PARTIES DES CORPS ORGANISÉS.

§ I. Influence de l'électricité sur la circulation du chara... 250
§ II. Influence de l'électricité sur le mouvement des villosités qui couvrent la surface libre de certaines membranes muqueuses..... 259

LIVRE XIX.

DE LA PHOSPHORESCENCE.

CHAPITRE PREMIER.

PHOSPHORESCENCE PRODUITE PAR LES MOYENS MÉCANIQUES.

Des effets de frottement..... 259

CHAPITRE II.

DE LA PHOSPHORESCENCE PAR LA CHALEUR.

§ I. Résultats obtenus par Placidus Heinrich..... 265
§ II. Expériences de M. Th. de Saussure sur la phosphorescence de quelques composés à base de chaux, par la chaleur..... 269
§ III. De la phosphorescence de la chlorophane par la chaleur et la lumière, et de la théorie de la phosphorescence de Grothuss..... 272

CHAPITRE III.

DE LA PHOSPHORESCENCE PRODUITE DANS LA CRISTALLISATION. 280

CHAPITRE IV.

Pages.

DE LA PHOSPHORESCENCE PRODUITE PAR LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

§ I. De quelques propriétés relatives au pouvoir phosphorescent de la lumière électrique..... 284
§ II. Sur la nature de la radiation émanée de l'étincelle électrique qui excite la phosphorescence à distance.... 294
§ III. Phosphorescence produite par l'étincelle électrique éclatant dans l'air à diverses pressions..... 301
§ IV. Sur la phosphorescence par élévation de température. 305

CHAPITRE V.

DE LA NATURE DES RADIATIONS QUI EXCITENT LA PHOSPHORESCENCE ET QUI DÉTERMINENT QUELQUES ACTIONS CHIMIQUES. 308

CHAPITRE VI.

DE LA PHOSPHORESCENCE DANS LES SUBSTANCES ORGANISÉES OU LES CORPS VIVANTS..... 313

CHAPITRE VII.

DES TÉLÉGRAPHES ÉLECTRIQUES..... 320

CHAPITRE VIII.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ ÉLECTRO-CHIMIQUE POUR APPLIQUER LA DORURE SUR L'ARGENT ET LE LAITON..... 325

CHAPITRE IX.

THÉORIE ÉLECTRO-CHIMIQUE.

§ I. Exposé des phénomènes généranx..... 333
§ II. De la force chimique du courant électrique dans ses rapports avec les affinités; mesure des affinités..... 360
Sur le retard qu'éprouve la décharge électrique dans des circuits fermés placés près du fil conjonctif d'une batterie, par M. Riess..... 389

ADDITION

AU § VI DU CHAPITRE II, LIVRE XVII; LETTRE DE M. DUPERREY A M. ARAGO, SUR LES ORAGES..... 400

FIN DE LA TABLE.

TABLE ANALYTIQUE

DES MATIÈRES

DES Ier, IIe, IIIe, IVe, V^e^ ET VIe VOLUMES.

A.

Acide. Effets électriques produits dans le contact des acides et des métaux, I, 148 et II, 81; — produits dans la décomposition de l'eau par la pile, I, 102. — Acides transportés par les courants, I, 147. — Réaction d'un acide sur l'alcali, I, 254. — Transsudation d'un acide pendant la germination, I, 353.

Action réciproque des métaux dans leur contact mutuel, I, 89.

Affinités. Rapport de l'électricité et des affinités, V (Ire partie), 243. — Du rapport des affinités, VI (Ire partie), 48; *id.*, *id.* (2e partie), 333 et suiv.

Agaric. Phosphorescence de l'agaric, IV, 73.

AGRICOLA; recherches sur les filons, I, 485.

Aiguille aimantée, I, 69. — II, 334, 337, 339. — Des aiguilles de boussoles, II, 339. — Action du globe sur l'aiguille aimantée, II, 264 et suiv. — Action des sphères de fer sur l'aiguille aimantée, II, 343. — Variations diurnes de l'aiguille aimantée, I, 202. — Action des courants sur l'aiguille aimantée, I, 208; II, 430 et suiv. — Changement de pôle d'une aiguille par une décharge, I, 40. — Époque de la découverte des variations diurnes de l'aiguille aimantée, I, 198.

Aimant. Aimant naturel, I, 69. — Propriétés générales des aimants, II, 257. — Divers procédés d'aimantation, I, 74; II, 291 et suiv. — Théorie des aimants, I, 45, 76, 210. — Force coercitive des aimants, II, 355, 357. — Action des aimants sur tous les corps, I, 272; II, 382, 468 et suiv. — Influence de la chaleur sur les

aimants, II, 361 et suiv. — Loi de l'action d'un courant sur un aimant, I, 212. — Aimantation produite par les courants continus et discontinus et les décharges électriques, II, 443 et suiv. — Action des aimants sur les courants mobiles, III, 29. — Rotation des courants sous l'influence des aimants, et réciproquement, III, 35 et suiv. — Rapport des hélices et des aimants, III, 46. — Dégagement de l'électricité par l'influence des aimants, II, 148. — Aimants électriques en fil de fer, VI (1re partie), 110.

Aimantation. Résultats des recherches de M. Quetelet; sur l'aimantation, I, 378.

Albumine. Action du courant sur l'albumine, V (1re partie), 293.

Alcali produit dans la décomposition de l'eau par la pile, I, 102. — Décomposition des alcalis par la pile, I, 150. — Rapport de conductibilité des acides et des alcalis, III, 212. — Alcali transporté par les courants, I, 147.

Alcool. Inflammation de l'alcool par l'étincelle, I, 38. — Action de l'électricité sur l'alcool, IV, 205; V (2e partie), 254, 262.

Altération des roches, I, 492, 509; — des laves, I, 509; V (1re partie), 141; — du fer et de la fonte, V (1re partie), 41; — du cuivre, V, 50; — du plomb, du zinc, de l'argent, de l'étain, V (1re partie), 76.

Amalgame d'ammoniaque, I, 159; — du zinc amalgamé, V (2e partie), 284.

Ambre, I, 33, 35.

Amidon (colle d') employée pour charger les piles, I, 165.

Ammoniaque. Absorption de l'ammoniaque, I, 514. — Formation spontanée de l'—, V (1re partie), 83.

Ampère; sa théorie pour expliquer la permanence du contact des atomes, dans les combinaisons, I, 177. — Action des courants électriques les uns contre les autres, I, 210. — Opinion de M. Ampère sur les aimants, I, 216. — De l'action des courants les uns sur les autres, III, 15. — De l'action des aimants sur les courants mobiles, III, 29. — De la rotation des courants par l'influence des aimants ou du magnétisme terrestre, *id.*, 35. — Rapport entre les hélices et les aimants, *id.*, 46. — Théorie des phénomènes électro-dynamiques, et des travaux analytiques qui s'y rapportent.

Anneaux colorés, I, 286; — formés sur des plaques métalliques par des courants électriques, III, 274.

Appareil à couronne de tasse, I, 99.

Arago (M.); comparaison des recherches faites sur l'équateur magnétique par MM. Morlet et Hansteen, I, 193. — Influence des aurores boréales sur la marche de l'aiguille d'inclinaison et de déclinaison, I, 200 et suiv. — Observations faites en divers lieux et discutées par M. Arago, I, 202 et suiv. — De l'aimantation par les décharges électriques, II, 443. — Action de tous les corps

sur l'aiguille aimantée pour diminuer l'amplitude des oscillations, sans changer leur nombre, II, 393. — Des phénomènes magnétiques produits dans tous les corps par la rotation, *id.*, 396.

Argent. Méthode pour essayer l'argent, III, 343. — Altération de l'–, V (1re partie), 76. — Dorure sur argent, VI (1re partie), 324.

Armatures. Armatures ou armures des aimants, II, 297.

Arragonite. Formation électro-chimique de l'arragonite, V, (1re partie), 124.

Atmosphère. Électricité atmosphérique, IV, 78, 98 et suiv. — Causes de l'électricité atmosphérique, IV, 104.

Atomes. Théorie imaginée pour expliquer la formation des corps, III, 350 et suiv. — Théorie atomique de M. Berzelius, considérée sous le rapport électro-chimique, I, 175.

Attraction des corps électrisés, I, 33; — le pouvoir électrique se transmet à travers le verre, I, 36; — et répulsion électrique, I, 54; II, 152; — et répulsion magnétique, II, 257, 285. — Attraction locale des fers des vaisseaux sur la boussole, I, 370.

Auge, Voyez Pile.

Aurore boréale, IV, 146. — Des diverses théories imaginées pour expliquer les aurores boréales, VI (1re partie), 200.

B.

Balance de torsion, II, 152, 288; — électro-magnétique, V, (1re partie), 209. — Bifile, V (2e partie), 71.

Barlow; influence de la chaleur sur le magnétisme du fer et de l'acier, I, 368. — Des phénomènes magnétiques produits par la rotation, dans une sphère de fer pline ou creuse, II, 407.

Baromètre. Lumière produite dans le vide barométrique, I, 38.

Barreaux. Aimantation des barreaux d'acier, II, 300. — Distribution du magnétisme dans les barreaux aimantés, II, 322. — De la force magnétique que prennent les barreaux de fer doux, sous l'influence des courants, II, 461.

Baryte. Cristallisation du sulfate de baryte, III, 320. — Dissolution du sulfate de baryte dans les eaux acidulées, carbonatées, etc., V (1re partie), 143.

Batterie électrique, II, 223. — Batterie voltaïque, III, 121. — Batterie voltaïque à courant constant, V (2e partie), 64, 295.

Beccaria; ses découvertes touchant les effets physiques de l'étincelle sur l'air, I, 45; il attribue le magnétisme terrestre à une circulation régulière et constante du fluide électrique du nord au sud, *id.*, 46. — Son puits électrique, à l'aide duquel il a prouvé que toute électricité que l'on communique à un corps se

transporte sur sa surface, *id.*, 57.—Ses observations sur les propriétés lumineuses qu'acquièrent certains corps quand ils sont exposés à la lumière solaire ou électrique, *id.*, 67.

Becquerel. De la mesure des courants électriques, II, 20. — De l'influence de la chaleur sur le dégagement de l'électricité, *id.*, 34. — Du pouvoir thermo-électrique des métaux, *id.*, 44. — Des effets de la chaleur sur les corps mauvais conducteurs, *id.*, 70. — Du dégagement de l'électricité dans les actions chimiques, *id.*, 74 à 94. — Du dégagement de l'électricité par pression, *id.*, 97. — Des effets électriques de clivage, *id.*, 111. — Du dégagement de l'électricité par frottement, *id.*, 113. — Des effets électriques de frottement, considérés comme effets électro-chimiques, *id.*, 130. — Des effets électriques produits dans le contact des corps conducteurs, *id.*, 133. — Du pouvoir conducteur des corps pour l'électricité, III, 74.—De la réduction des oxides métalliques, même les plus réfractaires, au moyen des courants produits avec de l'électricité à faible tension, *id.*, 228. —Des métaux cristallisés, *id.*, 239. — De la formation des composés électro-chimiques insolubles, au moyen des courants provenant de l'électricité à petite tension. — Des oxides métalliques cristallisés. —Des sulfures, chlorures, iodures, bromures métalliques, etc.; doubles sulfures, doubles chlorures, doubles iodures métalliques, etc., *id.*, 294 à 318. — Exposé d'une méthode générale pour obtenir cristallisés le soufre, le sulfate et le carbonate de baryte, *id.*, 320.—Emploi de l'électricité comme moyen d'essai chimique, *id.*, 330.— Théorie électro-chimique, *id.*, 406; VI, (1re part.,) 333.—De la mesure des températures, et en particulier de celle des parties intérieures de l'homme et des animaux, à l'aide des effets thermo-électriques, IV, 1-17.—Recherches sur la phosphorescence, *id.*, 23.—De l'action de l'électricité sur les corps organisés, *id.*, 159. —De l'influence des effets électro-chimiques sur la germination des graines, et la nutrition des jeunes plantes, *id.*, 176.—Des poissons électriques, *id.*, 255.—Des diverses causes pouvant dépendre d'effets électriques, qui exercent une influence sur les actions chimiques, V, 1re partie, 14.—Des doubles décompositions ou décompositions successives, *id.*, 21. — Des actions lentes, *id.*, 30. — De l'action des courants produits par de l'électricité à faible tension sur les substances insolubles, et de la formation des composés analogues à ceux que l'on retrouve dans la nature, *id.*, 115. — De la formation électro-chimique du carbonate de chaux et des doubles carbonates, *id.*, 123. — Actions chimiques diverses qui doivent être prises en considération dans les phénomènes géologiques, *id.*, 135. — De la décomposition des roches, *id.*, 175.— Des réactions chimiques observées dans les filons, *id.*, 184. — Indication d'un procédé pour évaluer par approximation l'époque du dernier cataclysme du globe, *id.*, 204. — De la

mesure des courants électriques au moyen de la balance électro-magnétique, *id.*, 209. — De la pile à courant constant, *id.*, 215. — Considérations sur les rapports qui lient les affinités aux forces électriques, *id.*, 223. — Nouvelles recherches sur le dégagement de l'électricité dans le contact des corps, v (2e partie), 1. — Des piles à courant constant; découverte du principe général, *id.*, 164. — Du dégagement de la chaleur dans le frottement, vi (1re partie), 1. — De la mesure de la température des lacs et de la mer à diverses profondeurs, *id.*, 16. — Nouvelles recherches sur la détermination de la température des tissus et des liquides animaux, *id.*, 20. — De la formation de quelques composés à l'aide de piles d'une construction particulière, *id.*, 86. — Influence de l'électricité sur le mouvement de certaines parties des corps organisés, en particulier sur la circulation du chara, *id.*, 351. — Nouvelles recherches sur la phosphorescence, *id.*, 284. — Sur la nature de la radiation émanée de l'étincelle électrique qui excite la phosphorescence à distance, *id.*, 294. — De la théorie électro-chimique, telle qu'elle doit être envisagée à l'époque actuelle, *id.*, 333 et suiv. — Mesure des affinités, *id.*, 360.

Becquerel (Edmond). Influence des corps dissous sur la décomposition de l'eau; du rapport des affinités vi (1re partie), 48; de l'emploi de effets électro-chimiques pour étudier les changements des corps sous l'influence de la lumière, *id.*, 56 à 80; — sur la phosphorescence, *id.*, 304.

Benvenuto Cellini cite, dans un ouvrage sur la bijouterie, des pierres qui répandaient de la lumière dans l'obscurité, 1, 410.

Berthier; analyse d'eaux minérales du Mont-d'Or et de Saint-Nectaire, 1, 464. — De la décomposition des doubles carbonates de chaux et de fer, v (1re partie), 186.

Berzélius; sa théorie, 1, 174. — Ses idées sur l'état magnétique des corps qui transmettent un courant, 1, 219. — Substances transportées par les eaux minérales, et enlevées à de grandes distances des lieux où on les recueille, 1, 465. — De la chaleur et de la lumière dégagées dans les actions chimiques, et considérées comme un effet électrique, III, 366.

Bichat; ses expériences sur le galvanisme, 1, 131 et suiv.

Biot; théorie du magnétisme terrestre, 1, 196. — Formule de la courbe des intensités magnétiques dans un barreau aimanté, 1, 365.

Biot et Savart. Recherches sur l'action mutuelle des courants et des aimants, entreprises dans le but de faire connaître le caractère de la force émanée du fil conjonctif, 1, 212; II, 432.

Bismuth. Effets thermo-électriques particuliers des circuits fermés, composés de barreaux de bismuth et d'antimoine.

Bohnenberg; perfectionnement qu'il a apporté dans l'électroscope à feuille d'or, 1, 225.

Boussinault; expériences sur les eaux thermales, 1, 456.

— Considérations sur les eaux thermales des Cordilières, I, 466.

Boussole. Des boussoles, II, 264. — Boussole de déclinaison, II, 265 ; — d'inclinaison, II, 269. — Des variations diurnes. Consulter le VIIe et dernier volume, où toutes les boussoles sont décrites avec de grands développements ; ces boussoles sont celles de Gambey.

Bouteille de Leyde. *Voyez* Leyde.

BREWSTER; phosphorescence des minéraux, I, 422.

Bromures. Formation des bromures métalliques, des doubles bromures, III, 310.

BRONGNIART ; remarques sur les pyrites, I, 475. — Altération des roches, I, 509.

C.

CANDOLLE (DE) ; application de l'électricité à la physiologie végétale, I, 350.

Canton, I, 48. — Phosphore de Canton, I, 411.

Capillarité. Effets électriques produits dans la capillarité, II, 94.

Carbonate. Action des bicarbonates, V (1re partie), 23. — Carbonate de chaux et double carbonate, V (1re partie), 23. — De la réaction du bi-carbonate de chaux sur le gypse, *id.*, 133.

Cascades. De l'électricité négative de l'eau des cascades, V (2e partie), 170.

Cémentation. Comment elle s'opère, I, 344. — Origine électrique de la cémentation, I, 346; V, (1re partie), 36, 106.

Chaleur. Effets électriques produits par la chaleur, I, 52; II, 34, 59. *Voyez* Effets thermo-électriques. — Phénomènes de chaleur produits par la pile, I, 124. — Chaleur terrestre, I, 448. — Effets électriques produits par la chaleur sur les corps mauvais conducteurs, II, 70. — Influence de la chaleur sur les propriétés magnétiques du fer, II, 306, 312. — Effets calorifiques produits dans l'air ou dans les corps, par le passage de l'électricité, III, 149, 159. — Chaleur dégagée dans les actions chimiques, III, 366. — Phosphorescence par élévation de température, IV, 49. — Influence de la chaleur dans les phénomènes électriques, I, 235. — Influence de la chaleur sur le magnétisme du fer, I, 368. — De la chaleur de l'homme et des animaux, et des différents appareils employés pour déterminer ses variations dans les phénomènes physiologiques, IV, 9; VI (1re partie), 1. — Chaleur dans les végétaux, VI (1re partie), 40. — Chaleur des fleurs, VI (1re partie), 46. — Appareil pour mesurer les effets de chaleur produits par le passage d'un courant de faible intensité dans un circuit métallique, V (1re partie), 286.

Chara. Influence de l'électricité sur la circulation du *chara flexilis*, VI (1re partie), 250.

Charbon. Son emploi en électro-chimie, III, 306.

Chlorures. Formation des chlorures métalliques, III, 305. — Doubles chlorures, III, 310. — Moyen de constater la présence d'un chlorure dans une dissolution, III, 330.

Choc en retour, I, 82.

Clarke; description de la machine électro-magnétique, V, (2e partie), 95.

Clivage. Effets électriques de clivage, II, 111.

Coercion. Force coercitive des aimants, II, 355, 406.

Combinaisons. Des combinaisons et des décompositions opérées à l'aide de courants électriques plus ou moins faibles, I, 330. — Des décompositions et combinaisons opérées au moyen de l'électricité ordinaire, et de l'électricité voltaïque, III, 256, 274, 257, 294 et suiv. — Emploi de l'électricité à forte tension pour produire des combinaisons analogues aux substances minérales, V (1re partie), 289.

Combustion. Corps combustibles, I, 462.

Commotion, *Voyez* Leyde, Batterie, Torpille, Analogie des effets de la commotion électrique et de ceux du tonnerre.

Compensateur magnétique de M. Barlow; voir le VIIe volume, I, 370.

Composés. Principes pour la formation des composés, III, 320.

Compression. Propriétés lumineuses qu'acquièrent certains corps par la compression, I, 416.

Condensateur électrique, II, 217.

Conducteurs métalliques. Action d'une chaîne composée de deux conducteurs métalliques, I, 119. — Action des conducteurs pliés en hélice, I, 213. — Charbon bien cuit et métaux bons conducteurs, I, 267.

Conductibilité des corps pour l'électricité, II, 3; III, 74; — des liquides, III, 92, V (1re partie), 255. — Du pouvoir conducteur des corps pour l'électricité, et de la mesure de l'intensité des courants, V (1re partie), 255 et suiv.

Conduction. Conduction ou décharge conductive, V (2e partie), 130.

Contact. Théorie du contact, I, 104, 290; II, 228. — Effets électriques de contact, II, 133; III, 383; V (2e partie); I, 12, 23, etc.

Contraction. Causes qui produisent les contractions, IV, 211, 282. — Contractions tétaniques, IV, 253. — Des contractions et des sensations produites dans les animaux par l'effet du courant électrique, V (2e partie), 231.

Copies en relief et en creux, au moyen des effets électro-chimiques, VI (1re partie), 113.

Coque du Levant, 1, 355. — Emploi de la pile voltaïque pour obtenir cristallisé un de ses principes constituants.

Couerbe; son mémoire (avec M. Pelletier) touchant l'action de la pile sur la coque du Levant, etc., 1, 355.

Couleurs produites par les apparences électro-chimiques, 1, 289; III, 274.

Coulomb; valeur des ordonnées magnétiques, 1, 364. — Des lois suivant lesquelles agissent les attractions et répulsions électriques, II, 152. — De la quantité d'électricité qu'un corps isolé perd dans un temps donné, par le contact de l'air, plus ou moins humide, et le long des supports plus ou moins isolants, *id.*, 157. — Distribution de l'électricité sur la surface des corps conducteurs isolés, *id.*, 167. — De l'action par influence exercée à distance par un corps électrisé sur un corps à l'état naturel, *id.*, 177. — Lois des attractions et répulsions magnétiques, II, 283.— Procédé d'aimantation, *id.*, 295 — Distribution du magnétisme libre dans les barreaux, *id.*, 206 et suiv.

Courant. Courants électriques : leur action les uns sur les autres, 1, 208. — Leur rotation, 1, 274; III, 35. — Leur action sur tous les corps, 1, 271. — Combinaisons et décompositions opérées par les courants; expérience de l'auteur, 1, 332. — Leur action pour constater la présence de certains corps dans des dissolutions, 1, 354. — Action des courants sur l'aiguille aimantée, II, 430 et suivantes; III, 29. — Courants fermés, III, 25. — Courants par influence ou induits, II, 469, 471, 494; V (2e partie), 87 et suiv. — *Id.* dans des disques tournants, II, 482. — Courants thermo-électriques, II, 34. — Courants interrompus, V (1re partie), 241. — Courants magnéto-électriques, V (1re partie), 250. — De la mesure des courants hydro-électriques et thermo-électriques, V, (1re partie), 271. — Mesure des courants, II, 20. — Courants d'intensité, III, 394, 396; V (1re partie), 262 et suiv. — Force chimique du courant, V (2e partie), 248. — Tentatives pour reconnaître les courants électriques dans les corps animés, IV, 298. — Courants électriques dans les filons, V (1re partie), 165. — Propagation des courants électriques dans les liquides, V (2e partie), 225. — Courants électriques produits sous l'influence de la lumière, VI (1re partie), 56.

Cristaux. Cristaux de titane, 1, 268. — Cristaux métalliques à l'aide de faibles courants électriques, V (2e partie), 33, 93.

Cuivre. Procédé pour le garantir de l'action corrosive de l'eau de mer, 1. 258; V (1re partie), 55. — Altération du cuivre, V (1re partie), 50.

Cyanures. Formation électro-chimique des doubles cyanures, III, 310.

D.

Dalibard; son expérience pour démontrer l'identité de la foudre et de l'électricité, I, 41.

Davy; pile composée de charbon et de divers liquides, I, 111. — *Id.* avec des plaques métalliques de même nature et des liquides différents, *id.*, *id.* — Renversement des pôles d'une pile, *id.*, 112. — Analyse des phénomènes électro-chimiques opérés dans des vases de diverse nature. *id.*, 144. — Bases de la théorie électro-chimique, *id.*, 148, 173. — La pile est un moyen puissant d'action de retirer des minéraux et des substances organiques, les matières acides et alcalines qui y sont renfermées, *id.*, 152. — Décomposition des alcalis et des terres, *id.*, 155. — Discussion relative à l'amalgame d'ammonium, *id.*, 158. — Le potassium et le sodium se trouvent dans l'intérieur de la terre; origine des volcans, *id.*, 162. — Effets énormes de chaleur et de lumière produits avec la pile de l'institution royale de Londres, *id.*, 179. — Conductibilité des corps pour l'électricité, *id.*, 121; III, 74. — Effets calorifiques de la pile, *id.*, 159.

Daniell; pile voltaïque, V (2e partie), 295.

Daubeni; son mémoire sur la quantité et qualité des gaz dégagés dans les eaux thermales, I, 465.

Décharge. Aimantation par les décharges électriques, II, 443, 445. — Phosphorescence par les décharges électriques, IV, 49. — Décharges électriques, V (2e partie), 122, 130 et suivantes.

Déclinaison. Voyez Aiguille, I, 191. — Boussole de déclinaison, II, 265.

Décomposition. Décompositions chimiques produites par la pile, I, 124, 330, 341; V (2e partie), 274. — Théorie des décompositions chimiques, I, 141; — électro-chimiques, III, 191, 397. — Intensité de la décomposition électro-chimique, III, 248. — Intensité du courant pour produire la décomposition électro-chimique, III, 394. — Décompositions opérées avec l'électricité statique, III, 256. — Décompositions chimiques opérées par l'action chimique sur les électrodes, III, 287. — Décomposition des sels, III, 223; — des alcalis, I, 355; — de certaines substances, I, 493; — des matières organiques, I, 512; — des roches, I, 492, 535; — des granites, I, 499, V (1re partie), 176; — du fer spathique, I, 505; — par cémentation, V (1re partie), 106. — Des doubles décompositions, ou décompositions successives, V (1re partie), 21. — Effets électriques produits dans les décompositions chimiques, II, 87, 90. — Propriétés des fils de métal qui ont servi à opérer des décompositions chimiques, III, 107.

Dégagement. Du dégagement de l'électricité par contact (théorie de Volta), I, 84.; — de l'électricité, II, 1 à 148; — par la

chaleur, II, 595; V (2e partie), 39, 42; — dans les actions chimiques, II, 74; V (2e partie), 33; — par pression, II, 97, 100; — par frottement, II, 113; V (2e partie), 49; — dans le clivage, II, 111; — *id.* par influence, II, 147; — dans le contact, V (2e partie), 1 et suiv.

Delarive; mouvement d'un courant horizontal parallèlement à lui-même, I, 219. — Théorie des décompositions électro-chimiques, *id.*, 219. — Théorie du dégagement de l'électricité voltaïque, I, 298. — Du dégagement de l'électricité par frottement, II, 123. — Action que le globe terrestre exerce sur une portion mobile du circuit voltaïque, III, 4. — Des propriétés dont jouissent les lames ou fils de métal qui ont servi à opérer des décompositions électro-chimiques, *id.*, 108. — Des effets de tension de la pile, *id.*, 121. — Des rapports qui existent entre l'intensité du courant, le nombre et les dimensions des plaques voltaïques, et l'énergie de l'action chimique sur le métal oxidable, *id.*, 133. — Des modifications qu'éprouvent l'électricité voltaïque dans son passage à travers des conducteurs liquides, interrompus par des lames de métal, *id.*, 136. — De l'influence de la nature relative des conducteurs qui transmettent le courant, pour en diminuer l'intensité, *id.*, 143. — Propriétés générales des courants magnéto-électriques, V (1re partie), 250. — Sur un procédé électro-chimique pour dorer sur argent et sur cuivre, VI (1re partie), 324.

Deluc; sa théorie sur les terrains, I, 476.

Désagrégation. Changements chimiques produits dans les corps par la désagrégation, V, (1re partie), 16.

Desmarets; volcans de l'Auvergne, I, 482.

Dessaignes; propriétés lumineuses qu'acquièrent les corps par la compression, I, 416. — Ses travaux sur la phosphorescence, IV, 39.

Diélectriques. Du pouvoir inducteur des diélectriques, V (2e partie), 108.

Distribution de l'électricité sur la surface des corps conducteurs isolés, II, 167. — De l'électricité dans l'atmosphère et dans la terre, IV, 110.

Dissolution. Emploi des courants pour constater la présence de certains corps dans des dissolutions, I, 354. — Procédé pour reconnaître les altérations de certaines dissolutions au contact de l'air, III, 330. — De la dissolution du sulfate de baryte et du stéaschiste dans les eaux acidules carbonatées, V (1re partie), 143.

Dolomie. Formation de la dolomie (double carbonate de chaux et de magnésie), V (1re partie), 132.

D'Oppel; observation sur les filons, I, 487.

Doublage. Des effets tentés pour préserver le doublage des vaisseaux, V (1re partie), 55.

Doubleur d'électricité, I, 166.

Dumas; sa théorie sur le contact des atomes, I, 261.

Duperrey; travaux magnétiques exécutés pendant le voyage de *la Coquille*, I, 386. — Équateur magnétique, I, 400. — Voir ses travaux sur le magnétisme terrestre, VI (2e partie).

E.

Eau. Eaux minérales, I, 462. — Eau oxigenée; sa décomposition, II, 91, 93. — Influence de l'eau de cristallisation sur la phosphorescence, IV, 56. — Influence exercée par l'eau sur un grand nombre de composés, V (1re partie), 14. — Action corrosive de l'eau de mer sur le cuivre. *Voyez* Cuivre. — Influence des corps dissous sur la décomposition de l'eau, VI (2e partie), 48.

Éclairs. Des différentes espèces d'éclairs, V (2e partie), 123. — Procédé pour apprécier la durée d'un éclair de la 1re ou 2e classe, V (2e partie), 127. — De diverses questions relatives au rapport des éclairs avec le tonnere, V (2e partie), 133.

Électricité. Propriétés générales de l'électricité, I, 33. — Vitesse de l'électricité, IV, 35. — Effets électriques produits dans les actions chimiques, I, 224; II, 74; III, 383; IV, 29. V (2e partie), 33. — Effets électriques produits dans les décompositions chimiques, II, 87. — Dégagement de l'électricité, II, 1; — par contact, V (2e partie), 1; — par le frottement, I, 234; II, 113; V (2e partie), 44 et suivantes; — par la pression, I, 234; II, 97; — par le clivage, II, 111; — par la combustion, II, 85; — par les actions capillaires, II, 94; — par influence, I, 52; II, 177. — Courants électriques produits par influence, II, 147, 469; V (1re partie), 231. — Effets électriques produits dans la réaction des dissolutions, II, 77. — Effets électriques produits dans la désagrégation mécanique, IV, 25. — Quantité d'électricité unie aux atomes, III, 379. — Mesure des courants électriques, II, 20; V (1re partie), 255. — Appareil propre à mesurer l'électricité voltaïque, III, 202. — Rapport entre l'électricité et les affinités, V (1re partie), 223, 275. — Comparaison des intensités électriques nécessaires pour les fortes et les faibles commotions, V (1re partie), 282. — Conductibilité électrique, I, 286; II, 3; III, 74; V (1re partie), 282. — Effets mécaniques et calorifiques de l'électricité, III, 147. — Phénomène que présente l'électricité dans son passage à travers les corps, I, 264. — Des mouvements excités dans les corps par l'électricité, I, 278. — Propriété électrique des fils qui ont servi à opérer des décompositions chimiques, I, 121. — Distribution de l'électricité à la surface des corps, I, 57; II, 167. — Théorie mathématique de l'électricité statique, I, 187. — Application de l'analyse mathématique à la distribution de l'électricité sur la surface des corps, II, 182. — Des lois suivant lesquelles agissent les attractions et répulsions électriques, II, 152. — Modifications qu'éprouve

l'électricité voltaïque dans son passage à travers les conducteurs liquides, III, 136. — Action chimique opérée avec l'électricité statique, III, 256. — De l'électricité comme moyen d'essai chimique, III, 330. — Action de l'électricité sur les substances insolubles, V (1re partie); III, 115. — Machine électrique, II, 196. — Étincelles électriques. *Voyez* Étincelles. — Lumière électrique, I, 177; IV, 31. — Phosphorescence produite par l'électricité, IV, 49; I, 61. — Électricité atmosphérique, I, 39, 300, 527; IV, 78 et suiv. — Phénomènes atmosphériques rapportés à l'électricité, I, 57. — Causes de l'électricité atmosphérique, IV, 104. — Distribution de l'électricité dans l'atmosphère et dans la terre, IV, 110. — Effets électriques qui ont accompagné et qui accompagnent les phénomènes géologiques, V (1re partie), 162. — Courants électriques produits dans les filons, V (1re partie), 165. — Influence de l'électricité sur la décomposition et la recomposition des roches, V (1re partie), 201. — Effets physiologiques de l'électricité, I, 319. — Application de l'électricité à la végétation, I, 61; IV, 159 et suiv. — Application de l'électricité à la physiologie et à la médecine, I, 61, 319; IV, 293 et suiv. — Action de l'électricité sur les corps animés, IV, 211 et suiv. — Des poissons électriques, I, 181; IV, 255 et suiv. — Lumière électrique produite par la torpille, V (1re partie), 302. — Électricité produite sous l'influence de la lumière, VI (1re partie), 56. — Télégraphes électriques, VI (1re partie), 321.

EFFETS THERMO-ÉLECTRIQUES.

Effets électriques produits par la chaleur, I, 52. — Phénomènes thermo-électriques, I, 234. — Théorie des phénomènes thermo-électriques, I, 290. — De la production des courants thermo-électriques, II, 34; V (2e partie), 42. — Dégagement de l'électricité par la chaleur dans les cristaux, II, 59, 502. — Pile thermo-électrique, III, 424. — De la mesure des températures à l'aide des effets thermo-électriques, IV, 1 et suiv.; VI (1re partie), 1 et suiv. — Hygromètre thermo-électrique, V, (1re partie), 243. — Mesure relative des courants hydro-électriques et thermo-électriques, V (1re partie), 271. — Développements relatifs aux phénomènes thermo-électriques, V (2e partie), 42. — Induction des courants thermo-électriques, V (2e partie), 106.

EFFETS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Effets électro-magnétiques, I, 208. — Action des courants électriques sur l'aiguille aimantée, II, 430. — Machine électro-magnétique, II, 205. — Balance électro-magnétique, V (1re partie),

209. — Propriétés générales des courants magnéto-électriques, v (1re partie), 250. — Théorie des phénomènes électro-dynamiques de M. Ampère, III, 52. — Machines électro-magnétiques, VI (1re partie), 95 et suivantes.

ÉLECTRO-CHIMIE.

Découvertes électro-chimiques de Davy, I, 143. — Des théories électro-chimiques, I, 168, 258; III, 366. — Théorie des décompositions électro-chimiques de Grotthus, III, 374. — *Id. id.* de M. Delarive, III, 376. — Doctrine électro-chimique de M. Faraday, I, 548; III, 379. — Théorie électro-chimique de l'auteur, III, 406; VI (2e partie), 333. — Apparences électro-chimiques, I, 286. — Décompositions électro-chimiques I, 354; III, 391, 397. — Nomenclature électro-chimique, III, 191. — De la nature définie et de l'intensité de la décomposition électro-chimique, III, 248. — Des causes qui exercent une influence sur les actions électro-chimiques, V (1re partie), 1. — Propriétés dont jouissent les fils de platine qui ont servi à opérer des décompositions électro-chimiques, III, 107. — Des composés électro-chimiques, ou produits secondaires, III, 294 et suiv. — Formation électro-chimique de l'arragonite, V (1re partie), 124. — Formation des corps par l'électricité à forte tension, V, (1re partie), 289.

Électro-capillo-chimique (phénomène), I, 352.

Électro-dynamiques (phénomènes), I, 209.

Électromètre, I, 52; II, 7.

Électromoteur, I, 105.

Électrophore, II, 227.

Électroscopes, II, 7.

Élie de Beaumont; époque des soulèvements terrestres, I, 429.

Endosmose. Endosmose et exosmose dans leur rapport avec les phénomènes électriques, IV, 192.

Équateur. Équateur magnétique, I, 191, 386.

Equivalent. Rapport qui existe entre l'action du courant et les équivalents chimiques, V (2e partie), 244.

Étain. Altération de l'étain, V (1re partie), 76.

Éther. Action des courants électriques sur l'éther, V, (2e partie), 248.

Étincelle. Étincelle électrique, II, 207; V (2e partie), 142. — Combinaison des gaz au moyen de l'étincelle électrique, III, 261. — Recherches de Faraday, V (2e partie), 142 et suiv.

Eudiomètres; III, 262.

F.

Faraday; ses expériences sur la révolution d'un fil con-

ducteur autour du pôle d'un aimant, I, 214. — Du dégagement de l'électricité par l'influence des courants électriques, II, 147. — Du dégagement de l'électricité par l'action des aimants, *id.*, 148. — Des actions excitées dans tous les corps, par l'influence des courants électriques ou des aimants, *id.*, 468 à 494. — Des propriétés dont jouissent les lames ou fils de métal qui ont servi à opérer des décompositions électro-chimiques, III, 115. — De la nomenclature électro-chimique, *id.*, 191. — De l'identité des décompositions chimiques opérées avec des électricités émanées de diverses sources, *id.*, 194. — Des appareils propres à mesurer l'action voltaïque, *id.*, 202. — Sur la quantité d'électricité que l'on suppose unie aux atomes de la matière, *id.*, 379. — Opinion sur les effets du contact, *id.*, 383. — De l'intensité du courant nécessaire pour opérer la décomposition électro-chimique, *id.*, 394. — De l'intensité du courant, *id.*, 396. — Considérations générales sur les décompositions électro-chimiques, *id.*, 397. — Du pouvoir inducteur des diélectriques, V (2e partie), 108. — Des rapports entre l'induction, la conduction et les diverses charges électriques, *id.*, 130 à 162.

Fer. Tableau des propriétés magnétiques du fer, I, 369. — Décomposition du fer spathique, I, 505. — Action exercée par des sphères de fer sur l'aiguille aimantée, II, 343. — Influence de la chaleur sur les propriétés magnétiques du fer, II, 361, 365. — Effets magnétiques produits dans une sphère de fer par la rotation, II, 407. — Aimantation du fer par les décharges électriques, II, 407. — Magnétisme des minerais de fer, II, 468. — Observations sur les alliages de fer, III, 237. — Propriété anormale du fer plongé dans l'acide nitrique, V (1re partie), 9, 308.

Fermentation. De la fermentation dans ses rapports avec l'électricité, IV 202.

Feu Saint-Elme, I, 44.

Fil. Distribution du magnétisme dans des fils d'acier, II, 306, 312.

Filons. I, 485, 493.

Flamme. De la température des diverses enveloppes d'une flamme, IV, 3.

Fluide électrique. Voyez Électricité. — Propriété particulière à chaque fluide électrique, I, 166.

Force électro-motrice, I, 105.

Foudre. Quelques exemples des effets de la foudre, I, 307 et suiv. — Effets particuliers de la foudre, IV, 131, VI (1re partie), 117. — Tubes fulminaires, IV, 137. — Phénomènes généraux de la foudre, VI (1re partie), 117 et suiv.

Fourier; distribution de la chaleur dans la terre, I, 454.

Fourneaux. De la température des fourneaux, IV, 3.

Fournet; altération des filons de Pont-Gibaud, I, 493.

Francklin; ses expériences sur l'électricité atmosphérique, I, 40. — Sa théorie, I, 43.

Frottement. Effets électriques de frottement, I, 234; II, 113, V (2e partie), 44 et suiv. — Changements chimiques produits par le frottement, V (1re partie), 16. — Procédés pour étudier le dégagement et la chaleur par frottement, VI (1re partie), 1 et suiv.

G.

Galène, I, 349.

Galvani; sa découverte, I, 82.

Galvanisme, I, 81. — Son application à la médecine, I, 237. — Expériences galvaniques faites par Vassali-Eandi, Giulio, Rossi, I, 134.

Galvanomètre. Des galvanomètres ou multiplicateurs, I, 214, 224; II, 15; — à fil long, II, 17; — à fil court, II, 18.

Gay-Lussac (Expériences de), I, 205 et suiv. — Rapport sur les paratonnerres, I, 314; VI. 139. — Théorie des volcans, I, 144.

Gay-Lussac et Thénard. Des effets chimiques de la pile quand on change la nature du liquide placé dans les auges, III, 209. — De la quantité de gaz dégagée suivant que la partie des fils immergés est plus ou moins longue, *id.*, 210. — Des rapports de conductibilité des acides et des alcalis, relativement aux effets chimiques de la pile, *id.*, 211. — Des rapports existant entre les effets chimiques et les quantités de sel mises dans l'entonnoir, *id.*, 212. — Des rapports existant entre les effets chimiques, le nombre et la surface des plaques de la pile, *id.*, 213. — Comparaison entre les effets chimiques et la tension électrique d'une pile montée avec divers liquides.

Gaz. Gaz lumineux par pression, I, 418. — Pouvoir des métaux pour opérer les combinaisons des substances gazeuses, III, 3. — Combinaison des gaz au moyen de l'étincelle électrique, III, 261. — Éclairage au gaz par l'action voltaïque, I, 110.

Geoffroy-Saint-Hilaire; anatomie des poissons électriques, I, 182.

Géographie des diverses substances minérales contenues dans les eaux minérales, I, 462.

Gilbert; il fait connaître un grand nombre de corps doués de la propriété attractive, I, 35.

Globe. De l'intensité des forces magnétiques du globe, I, 198. — État du globe lors de sa formation et de ses diverses révolutions, I, 427. — Époque de la dernière révolution du globe, I, 524; V (1re partie), 204. — Action du globe sur les aiguilles aimantées, II, 264, 278. — De la rotation des courants par l'influence du globe, III, 35, 41. — L'électricité atmosphérique

exerce-t-elle une influence chimique sur la surface du globe, IV, 114. — Des diverses formations dont se compose la croûte du globe, I, 459. — De l'influence des effets électriques sur les phénomènes géologiques, V (1re partie), 148, 155, 162.

Graham; découverte des variations diurnes de la déclinaison, I, 78.

Grêle. Opinions diverses sur la formation de la grêle, I, 316. — De la grêle, IV, 151.

Grenouille. Des contractions produites dans la grenouille, par le contact de deux métaux; découverte de Galvani, I, 81. — Des différentes parties du corps de la grenouille qui développent son courant propre, et des propriétés de ce courant, V (2e partie), 225. — Des causes qui modifient le courant de la grenouille, *id*, 228.—De la cause du courant de la grenouille, *id.*, 229. — Courant propre de la grenouille, VI (1re partie), 223. — Sensibilité électrique de la grenouille, comparée à celle du multiplicateur, IV, 236. — De l'effet des alternatives voltaïques sur les contractions de la grenouille, *id.*, 241. — Analyse des effets produits quand on ouvre ou ferme le circuit, et lorsqu'on change le sens du courant, *id.*, 244.

Grotthus; sa théorie; de la décomposition électro-chimique, I, 341; III, 374.

Guyton-Morveau; ses idées sur le rôle que joue l'électricité dans la nature, I, 154.

Gymnote. Moyen de le pêcher, I, 183.

Gypse. Réaction du bi-carbonate de chaux sur le gypse, V (1re partie), 133.

H.

Halley; ses recherches sur le magnétisme terrestre, I, 191.

Haloïdes. — État des sels haloïdes dans leur dissolution dans l'eau, V (2e partie), 256.

Hart (John); lumière produite par la décharge d'un fusil à vent, I, 419.

Hélices. Des hélices, II, 436. — Rapports entre les hélices et les aimants, III, 46. — Action des conducteurs pliés en hélices, I, 218. — De l'induction des hélices, V (2e partie), 87 et suiv.

Heinrich (Placidus); ses recherches sur la phosphorescence, VI (1re partie), 265.

Herschel; des mouvements gyratoires du mercure, I, 280.

Horloge à ressort, son emploi dans les expériences électriques de frottement, I, 251.

Humboldt; ses travaux sur le galvanisme, I, 92. — Sur les variations du magnétisme terrestre I, 196; — ses observations

magnétiques, faites de concert avec M. Gay-Lussac, en France, en Suisse, en Italie et en Allemagne, I, 205 et suiv. — Observations relatives à l'inclinaison de l'aiguille aimantée, et au décroissement de l'intensité des forces magnétiques des pôles à l'équateur magnétique, I, 392. — Considération sur les volcans, I, 446. — Expériences dans les mines de Freyberg, I, 453. — Expériences sur la température, I, 454. — Température des eaux thermales, I, 456.

Hutton; son opinion sur les filons, I, 488.

Hydrogène. Décomposition du peroxide d'hydrogène, II, 91.

Hygromètre. Hygromètre thermo-électrique, V (1re partie), 243.

I.

Inclinaison. Inclinaison magnétique. — Boussole d'inclinaison, II, 269.

Induction. Nouvel état électrique de la matière pendant l'induction magnéto-électrique terrestre, II, 487. — Courants induits, II, 494; V (1re partie), 231. — Induction d'un courant sur lui-même ou à distance, V (2e partie), 87 et suiv. — Du pouvoir inducteur des diélectriques, V (2e partie), 108. — Du rapport de l'induction et de la conduction, V (2e partie), 130.

Influence. Électricité par influence, I, 52; II, 177; II, 147, 468. — Influence de la chaleur dans les phénomènes électriques, I, 235; II, 34.

Insolation. Phosphorescence par insolation, IV, 45.

Iodure. Formation des doubles iodures, III, 310. — Des iodures métalliques, III, 318.

K.

Kircher (le P.); des propriétés magnétiques du fer et de l'acier incandescents, II, 36.

Kupffer; recherches sur les variations et la durée moyenne de oscillations horizontales de l'aiguille aimantée, I, 388. — Détermination de l'influence de la chaleur sur la distribution du magnétisme libre des aiguilles aimantées, I, 371; II, 372.

L.

Lames. Les lames de métal qui ont servi à des décompositions chimiques possèdent des facultés électriques, III, 107.

Lampire. Phosphorescence des lampires, IV, 70.

Lampe à gaz hydrogène; III, 257.

Lebaillif; phénomène magnétique découvert par ce physicien, I, 385.

Lebouvier Desmortiers; sa doctrine sur l'emploi de l'électricité en médecine, , 1, 140.

Leyde (bouteille de); son auteur, 1, 38.

Limaille de zinc; son emploi dans les expériences électriques de frottement, 1, 251.

Lumière. De la lumière électrique, 1, 177; IV, 31; V (2e partie), 142; — produite par la torpille, V (1re partie), 302. — Phénomènes lumineux produits par de fortes piles, 1, 177. — Lumière dégagée dans les actions chimiques, III, 366.

Lumière solaire. Corps exposés à la lumière solaire, leur propriété lumineuse, 1, 67. — Changements opérés dans les corps sous l'influence solaire, VI (2e partie), 56.

M.

Machine pneumatique; son auteur, 1, 35, — Première machine électrique, son auteur, 1, 35, 36.

Machines électriques. Comparaison des machines électriques avec les piles de Volta, 1, 113. — Machine électro-magnétique rotative, V (2e partie), 100 et 108.

Magnétisme. Du magnétisme, 1, 69. — Mesure des forces magnétiques, 1, 67. — Des diverses théories imaginées pour expliquer les phénomènes magnétiques, 1, 76. — Magnétisme par rotation, 1, 276. — Théorie du magnétisme, 1, 358. — Inconvénients des pôles magnétiques multiples, 1, 391. — Théorie mathématique du magnétisme, II, 412. — Attractions et répulsions magnétiques, II, 257. — Pôles magnétiques, II, 257. — Influence de la chaleur sur le magnétisme du fer, 1, 368; II, 361. — Influence du magnétisme sur les actions chimiques, 1, 380. — Intensité du magnétisme libre dans une aiguille aimantée, 1, 364; II, 282. — Distribution du magnétisme dans les fils d'acier, II, 306 et suiv. — Conservation du magnétisme dans le fer doux, II, 405. — Sur les rapports magnétiques généraux des métaux, V (1re partie), 297. — Électro-magnétisme, 1, 208. — Action des courants électriques pour la production du magnétisme, II, 461. — Actions magnétiques produites dans différents minerais de fer par l'influence des courants électriques, II, 468. — Rotation des courants par influence du magnétisme terrestre, III, 35, 41. — Du magnétisme par rotation, 1, 358; II, 396, 406. — Théorie du magnétisme par rotation, II, 423, 476. — Du magnétisme terrestre, 1, 191, 388, 527. — Intensité des forces magnétiques terrestres, 1, 198, 366; II, 274, 284. — Magnétisme polaire d'une montagne, 1, 257.

Manganèse. Moyen pour reconnaître la présence du manganèse dans une solution, III, 333.

Marianini; analyse des piles secondaires, I, 271. — Affaiblissement du courant dans les appareils voltaïques dû aux alternatives des conducteurs métalliques et liquides, III, 139. — De l'effet des alternatives voltaïques sur les contractions, IV, 241. — Analyse des effets produits quand on ferme et qu'on ouvre le circuit, et qu'on change le sens du courant, *id.*, 244.

Matière. Quantité d'électricité que l'on suppose réunie aux atomes de la matière, III, 379.

Matteucci. Des effets électriques produits dans le contact des métaux et des gaz non oxidables, V (2e partie), 12. — De la force chimique du courant électrique, et de ses rapports avec le mode de combinaisons des corps décomposés, *id.*, 236. — De la décomposition voltaïque opérée simultanément, sur deux combinaisons mêlées ensemble, *id.*, 240. — *Id.* sur des combinaisons binaires du second ordre, *id.*, 242. — Du rapport qui existe entre l'action du courant et le nombre relatif des équivalents chimiques qui entrent dans la combinaison chimique des composés, *id.*, 244. — Du courant propre de la grenouille, VI (1re partie), 223. — Des diverses parties du corps de la grenouille qui développent le courant propre, et des propriétés de ce courant, *id.*, 225. — Des causes qui modifient le courant de la grenouille, *id.*, 228. — De la cause du courant de la grenouille, *id.*, 229. — Des contractions et des sensations produites dans les animaux par l'effet du courant électrique, *id.*, 231. — Application de l'électricité au tétanos, *id.*, 234. — Recherches sur les phénomènes de la torpille, *id.*, 237.

Médecine. Application de l'électricité à la médecine, I, 61. — Application du galvanisme à la médecine, I, 137, 329; IV, 324.

Mer. Phosphorescence de la mer, IV, 75.

Mercure. Mouvement gyratoire du mercure, I, 278.

Métal. Pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité, I, 177, 286; — des métaux qui décomposent l'eau oxigénée, II, 91. — Pouvoir des métaux pour opérer les combinaisons chimiques, III, 111. — Des métaux cristallisés, III, 239. — Oxides et sels métalliques cristallisés, III, 297; V (1re partie), 135. — Méthode pour reconnaître les métaux dans leurs dissolutions, III, 337. — Précipitation des métaux par d'autres métaux, III, 345.

Mimosa sensitive soumise à l'action voltaïque, I, 135.

Minerai. Changements qu'éprouvent les minerais de cuivre de Chessy, V (1re partie), 194.

Moll; aimant électro-magnétique, I, 376.

Montagnes. Montagnes magnétiques, I, 257.

Morichini; de l'action magnétique opérée par la partie violette du spectre solaire, I, 384.

Multiplicateur de M. Nobili, I, 225; — *id.*, de M. Colladon, I, 286. — Multiplicateur de torsion, I, 266; — galvanomètre,

1, 224; II, 15; — à fil long, II, 17; — à fil court, II, 18.
Muscles. Organisation des muscles dans l'état de repos et dans l'état de contraction, IV, 215.

N.

Napoléon; sa passion pour le galvanisme; prix qu'il propose pour stimuler les recherches relatives à l'électricité, I, 107, 108. — Paroles remarquables qu'il adresse à Corvisart, I, 108.
Neige. Électricité atmosphérique pendant la neige, IV, 98.
Nerfs. Organisation des nefrs dans l'état de repos et dans l'état de contraction, IV, 215. — Degré de sensibilité de diverses parties des nerfs, à partir de leur origine, V (2e partie), 223.
Nitrification, I, 514; V (1re partie), 89.
Nitrique (acide). Moyens de constater dans une dissolution la présence de l'acide nitrique, III, 331. — Propriété anormale du fer plongé dans l'acide nitrique, V (1re partie), 9, 308. — Modification de l'acide nitrique de la part du courant, V (2e partie), 262.
Nollet (l'abbé), I, 40 et 41.
Nuages. Formation des nuages électrisés positivement, IV, 116. — Formation des nuages électrisés négativement, IV, 119. — Des nuages orageux qui sont constamment lumineux, V (2e partie), 129.

O.

Or. Méthode pour essayer l'or. III, 343.
Orages. Électricité atmosphérique pendant les orages, IV, 98. — Formation des nuages orageux, IV, 116, 119. — Signes précurseurs de l'orage, V (2e partie), 119. — De quelques signes précurseurs des orages non mentionnés, V (2e partie), 140. — Des causes locales qui influent sur la production des orages, et de la géographie des orages, V (2e partie), 146. — Lettre de M. Duperrey à M. Arago sur les orages, VI (1re partie), 400.
Organes des poissons électriques, IV, 268. — Action de la pile sur les substances organiques, I, 129. — Décomposition des matières organiques, I, 152.
Orioli; ses vues sur l'application de l'électricité à la médecine, I, 325.
Oxide. Des oxides métalliques, III, 296. — Cristallisation des oxides métalliques, III, 297; V (1re partie), 140. — Action simultanée des matières sucrées et mucilagineuses sur les oxides métalliques, V (1re partie), 135.
Oxidation. Son influence sur le dégagement de l'électricité dans

la pile, I, 107; — Influence de l'oxidation sur le galvanisme, I, 120.

Oxigène. Décomposition de l'eau oxigénée, II, 91.

P.

Paratonnerres, IV, 139. — Des paratonnerres, V (2e partie), 167.

Peltier ; du réfroidissement produit par le passage du courant électrique, I, 297.—Effets de chaleur produits dans les circuits métalliques par de faibles courants, III, 165. — Procédé pour reconnaître s'il y a solution chimique ou combinaison dans le contact d'un sel et de l'eau. — Description de l'hygromètre thermo-électrique, V (1re partie), 243. — Description d'un appareil pour mesurer les effets calorifiques produits par le passage d'un courant de faible intensité, dans un circuit métallique, *id.*, 286. — Du dégagement de l'électricité dans le contact des corps, *id.* (2e partie), 7 et suiv. — Des effets électriques produits dans le contact des métaux et des gaz non oxidables, V (2e partie), 14.— Des courants électriques produits dans le dérangement des particules des métaux, *id.*, 44. — Des trombes, VI (1re partie), 173.

Perseal ; phosphorescence rendue aux corps qui l'avaient perdue, I, 426. — De la phosphorescence produite par les décharges électriques, IV, 50.

Phosphate. Production du double phosphate d'ammoniaque et de manganèse dans les matières animales, V (1re partie), 92.

Phophorescence. Phosphorescence rendue aux corps qui l'avaient perdue, I, 426. — De la phosphorescence, I, 408. — Application de l'électricité à la phosphorescence, IV, 39 et suiv. — Des causes qui influent sur la phosphorescence, *id.*, 56. — Phosphorescence des corps organisés, *id.*, 70. — Phosphorescence de la mer, IV, 75. — Phosphorescence de quelques composés à base de chaux par la chaleur, VI (1re partie), 269. — Phophorescence de la chlorophane par la chaleur et la lumière; théorie de Grotthus, *id.*, *id.*, 272.— Propriétés relatives au pouvoir phosphorescent de la lumière électrique, *id.*, *id.*, 284. — Phosphorescence à distance, *id.*, 294. — Phosphorescence produite par l'étincelle électrique éclatant dans l'air à diverses pressions, *id.*, 301. — Phosphorescence par élévation de température, *id.*, 305. — Phosphorescence dans les substances organisées ou les corps vivants, *id.*, 313.

Physiologie. Application de l'électricité à la physiologie, I, 61. — Phénomènes physiologiques de la pile, I, 130. — Application de l'électro-chimie à la physiologie, I, 350. — Travaux physiologiques de M. de Humboldt, I, 92.

Pile. Pile voltaïque; de la pile de Volta, I, 97, II, 228. — Des

différentes piles voltaïques, I, 104; V (2e partie), 164, 192. — Piles secondaires, I, 121. — Piles sèches, I, 165; II, 251. — Piles thermo-électriques, III, 424 et suiv. — Pile à courant constant, V (1re partie), 215; V (2e partie), 164, 169, 195. — De la charge de la pile, III, 121 et suiv. — Causes qui influent sur la charge de la pile, I, 115. — De la force de la pile relativement à la tension, II, 241; III, 121. — Des causes qui font varier l'action chimique de la pile, III, 209. — Phénomènes de chaleur et de décomposition produits par la pile, I, 124. — Action chimique de la pile sur les substances organiques, I, 129. — Action de la pile sur les corps inorganisés, I, 209 et suiv. — Action de la pile sur les dissolutions salines, III, 218. — Action de la pile sur les acides, III, 243. — Action de la pile sur les sulfures alcalins, III, 307. — Phénomènes lumineux produits par de fortes piles. I, 177. — Phènomènes physiologiques de la pile, I, 130, 319. — Emploi de la pile en médecine, I, 137. — Inflammation des métaux par la pile, I, 108. — Pile à grandes plaques, ses propriétés, I, 109. — Renversement des pôles d'une pile, I, 112. — Comparaison des machines électriques avec la pile de Volta, I, 113. — Pile, I, 114. — Or volatilisé à colonne, charbon embrasé, platine fondu par l'action de la pile, I, 114. — Humeurs animales soumises à l'action de la pile, I, 129.

Plantes. Excitabilité produite dans les plantes par l'électricité, IV, 162 et suiv.

Platine. Oxidation du platine, V (2e partie), 20. — Modifications qu'éprouvent certains corps sous la double influence du courant et du platine, V (2e partie), 262.

Plomb. Moyen de constater la présence du plomb dans une dissolution, III, 333. — Altération du plomb, V (1re partie), 72.

Poisson; sa théorie mathématique des phénomènes d'électricité statique, I, 187. — Théorie du magnétisme terrestre, I, 358.

Poissons. Poissons électriques, I, 181; IV, 255, 260, 268; VI (1re partie), 235.

Pointes. Pouvoir des pointes, II, 190.

Polarisation. Polarisation électrique des conducteurs solides et liquides, V (2e partie), 268.

Pôles. Des pôles magnétiques, II, 257.

Pores. Propriétés chimiques des corps poreux, I, 514.

Potassium. Procédés pour l'obtenir, I, 155. — Phénomènes de mouvement produits dans les alliages de potassium, III, 168.

Pression. Du dégagement d'électricité par pression, II, 97, 100.

Q.

Quetelet; ses résultats sur l'aimantation, I, 378. — Re-

cherches sur les degrés successifs de force magnétique, I, 377. — De l'aimantation des aiguilles, I, 378. — Observations relatives à l'intensité magnétique en divers lieux, I, 404.

R.

Radiation atmosphérique, VI (1re partie), 80.—Radiations qui excitent la phosphorescence et qui déterminent quelques actions chimiques, *id.*, 308.

Réduction. Réduction des oxides, III, 223, 228.

Révolutions. Évaluation de la dernière révolution du globe, I, 524; V (1re partie), 204.—Théorie des forces révolutives, III, 51.

Roches. Décomposition des roches, I, 492, 535.

Romas; cerf-volant pour soutirer l'électricité, I, 303.

Rotation. Phénomènes magnétiques produits dans les corps par la rotation, I, 358; II, 396, 406, 407. — Théorie du magnétisme par rotation, II, 423. —De la rotation des courants et des aimants, III, 35 et suiv.

S.

Savart; théorie de l'action mutuelle des aimants, I, 212.

Savary; de l'aimantation à distance par les décharges électriques, I, 223; II, 445.

Seebeck; de la découverte des phénomènes thermo-électriques, I, 349.

Sels. Formation des sous-sels, V (1re partie), 21, 27.

Silicates. Formation des silicates, V (1re partie), 144.

Solénoïdes. Courants formés et solénoïdes, III, 25.

Soufre. Cristallisation du soufre, III, 320.

Spathique. Décomposition du fer spathique, I, 505.

Stéaschiste. Dissolution du stéaschiste dans les eaux acidules carbonatées, V (1re partie), 143.

Sulfures. De la production des sulfures, I, 349.—Cristallisation des sulfures et doubles sulfures, III, 310, 313.

Surface. Distribution de l'électricité à la surface des corps, I, 57; II, 182. — Rapport entre l'intensité d'un courant électrique et l'étendue des surfaces immergées, III, 141.

T.

Télégraphes électriques VI, (1re partie), 320.

Température. Influence de la température sur la distribution du magnétisme, II, 365. — Mesure des hautes températures, IV, 1, 3. — *Id.* des basses, *id.*, IV, 6. — Mesure des températures des

parties intérieures des corps organisés, IV, 9, 17. — Mesure de la température, VI (1re partie), 1 et suiv. — Mesure de la température des lacs et de la mer à diverses profondeurs, VI, 61 et suiv. — Détermination de la température des tissus et des liquides animaux, VI (1re partie), 20 et suiv. — De la température de l'homme et du chien dans les plaines et dans les montagnes, VI (2e partie), 21. — Différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux, VI (2e partie), 23. — Détermination de la température dans divers cas pathologiques, VI (2e partie), 37.

Terrains. Terrains d'alluvion ou d'atterrissement, I, 457; — tertiaires, I, 469; — secondaires, I, 473; — de transition I, 474; — intermédiaires, I, 474; — primitifs, I, 477; — volcaniques et modernes, I, 482.

Terres. Détermination de l'intensité du magnétisme terrestre, I, 364, 388. — Recherches sur le magnétisme terrestre, I, 191. — Chaleur terrestre, I, 448. — Procédé pour aimanter à saturation les barreaux par l'action de la terre, II, 300. — Action de la terre sur les courants mobiles, III, 111. — Rotation des courants et des aimants par influence de la terre, III, 35 et suiv. — Influence des forces électriques terrestres sur la décomposition des roches, V (1re partie), 201.

Tétanos. Contractions tétaniques, IV, 253.

Thalès; sa connaissance des propriétés électriques du succin, I, 83.

Thénard; ses travaux en commun avec M. Gay-Lussac; *voyez* Gay-Lussac.

Théorie électro-chimique, I, 150; III, 358 et suiv.; VI (1re partie), 333.

Titane métallique, I, 268.

Tonnerre. Durée du roulement du tonnerre, V (2e partie), 132. — Du roulement du tonnerre, de ses éclats, V (2e partie), 162. — Examen de plusieurs questions relatives aux coups de tonnerre, V (2e partie), 153.

Torpille. Electricité de la torpille, I, 65; IV, 255, 260. — Lumière électrique produite par la torpille, V (1re partie), 302. — Recherches sur les propriétés chimiques de la torpille, V (2e partie), 244.

Touche. Méthode de la double touche pour l'aimantation, II, 293.

Tourmaline. Sur les propriétés électriques de la tourmaline, I, 59; II, 502.

Transport. Transport de substances pondérables par les décharges électriques, III, 156.

Trémery (phénomène observé par), I, 167.

Trombes, I, 61. — Explication de trombes, V (2e partie), 182.

Tourbières, I, 512.

Tubes vitreux, I, 318.

U.

Unipolarité. Des corps unipolaires, v (2e partie), 276.

V.

Variation de la déclinaison, I, 78, 200; — dans la tension d'une pile, III, 124.

Végétation. Végétation métallique, I, 101. — Application de l'électricité à la végétation, I, 61; IV, 159. — Électricité dégagée dans la végétation, IV, 164.

Végétaux. Action de l'électricité sur les végétaux, IV, 159 et suiv.

Verre. Effets de l'action voltaïque sur le verre, pour en retirer l'alcali, I, 146.

Volcans. Phénomènes volcaniques, I, 439; V (1re partie), 151.

Volta; discussion de priorité entre Volta, Laplace et Lavoisier, I, 50. — Sa réception à l'Académie des sciences, *id.*, 106. — De la pile, I, 97. — Des piles secondaires, I, 121. — Thermoscope condensateur, II, 220.—Théorie du contact, I, 104; III, 121. — Théorie de la terre, IV, 152.

Voltaïques (piles voltaïques). *Voyez* Piles, Électricité.—De la forme à donner aux appareils voltaïques, V (1re partie), 300.

Y.

Young; sa théorie des tremblements de terre, I, 445.

Z.

Zinc. Altération du zinc, V (1re partie), 76.—Propriété du zinc amalgamé, V (2e partie), 177.

Æ.

Æpinus; ses travaux, I, 51.

OE.

OErsted; sa découverte, I, 208; II, 430.

W.

Wall; son opinion touchant la lumière électrique, I, 36.

WERNER; classification des terrains, I, 478. — Théorie des filons, I, 487. — Son opinion sur l'altération des roches, I, 492.
WILKE; ses travaux, I, 51.
WOLLASTON; origine chimique comme cause de l'action voltaïque, I, 118. — L'oxidation contribue au dégagement de l'électricité dans le frottement, II, 131, 201. — Pile suivant un procédé particulier, *id.*, 232. — De la décomposition de l'eau, et des effets chimiques produits au moyen de l'étincelle électrique, III, 257.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE.